



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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Павло САГАЙДА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерні науки та цифровий інтелект»
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

на тему «Дослідження методів та моделей для підтримки прийняття рішень про забезпечення керування стійкістю бортів кар'єрів на основі маркшейдерських та геофізичних даних»

Керівник роботи

Москаленко В.В.

Консультант від
бази практики

Болотніков В.В.

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

Здобувач

Романенко А.О.

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

Голова ЕК

Олена ПАВЛЕНКО

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>цифрових технологій та проєктно-аналітичних рішень</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>122 Комп'ютерні науки</u>
ОПП	<u>Комп'ютерні науки та цифровий інтелект</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Павло САГАЙДА

«02» грудня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Романенку Андрію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження методів та моделей для підтримки прийняття рішень про забезпечення керування стійкістю бортів кар'єрів на основі маркшейдерських та геофізичних даних

керівник роботи Москаленко Валентина Володимирівна, професор, докт. техн. наук,

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

затверджені наказом Університету від 14.10.2024 р. №238/14.10.2024

2. Термін подання роботи 08.02.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін і підготовки кваліфікаційної роботи, науково-дослідницькі роботи з автоматизації обробки та аналізу маркшейдерських та геофізичних даних, літературні джерела, результати власних досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Реферат. Зміст. Вступ. 1. Дослідження ключових проблем моніторингу стійкості бортів кар'єрів та постановка задачі (літературний огляд, недоліки існуючих методів, систем, сучасні тенденції). 2. Аналіз факторів впливу на стійкість кар'єрних бортів. 3. Розробка програмного забезпечення для аналізу стійкості бортів кар'єрів. 4. Програмна реалізація модуля розрахунків запасу стійкості бортів кар'єру. 5. Економічне обґрунтування ефективності проєкту розробки системи керування стійкістю бортів кар'єрів. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Актуальність, мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження; фактори впливу на стійкість кар'єрних бортів; діаграми проекту розробки програмного забезпечення в нотації UML; результати розробки та експериментальних досліджень; результати економічних розрахунків; висновки до роботи; публікації результатів дослідження.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР
2	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР
3	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР
4	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР
5	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР

7. Дата видачі завдання 02.12.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Дослідження ключових проблем моніторингу стійкості бортів кар'єрів та постановка задачі	20.01.2025 - 22.01.2025
2	Розділ 2. Аналіз факторів впливу на стійкість кар'єрних бортів	23.01.2025 - 25.01.2025
3	Розділ 3. Розробка програмного забезпечення для аналізу стійкості бортів кар'єрів	27.01.2025 – 30.01.2025
4	Розділ 4. Програмна реалізація модуля розрахунків запасу стійкості бортів кар'єру	31.01.2025 - 03.02.2025
5	Розділ 5. Економічне обґрунтування ефективності проєкту розробки системи керування стійкістю бортів кар'єрів	04.02.2025 - 05.02.2025
6	Висновки, перелік використаних джерел, вступ, зміст, реферат	06.02.2025 – 07.02.2025
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.02.2025 – 11.02.2025
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	12.02.2025 – 13.02.2025

9	Рецензування завершеної роботи. Захист	14.02.2025 – 17.02.2025
---	--	----------------------------

Здобувач

(Андрій Романенко)

Керівник роботи

(Валентина Москаленко)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра складається зі вступу, 5-и розділів, висновків і списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 108 сторінок, робота містить 20 рисунків та 3 таблиці, а також 2 додатка. Список використаних джерел включає 47 джерел.

Метою дослідження є підвищення ефективності управління гірничими роботами та мінімізація ризиків аварійних ситуацій за рахунок розробки та впровадження системи "GeoDATA Zones", яка забезпечить інтеграцію, збір, обробку та аналіз маркшейдерських і геофізичних даних для моніторингу стійкості бортів кар'єрів.

Об'єкт дослідження: процес моніторингу стійкості бортів кар'єрів та аналіз факторів впливу на стійкість кар'єрних бортів.

Предмет дослідження: методи та моделі для підтримки прийняття рішень про забезпечення керування стійкістю бортів кар'єрів для підвищення безпеки та ефективності гірничих робіт, розробка програмного забезпечення для оцінки стійкості бортів кар'єрів на основі маркшейдерських та геофізичних даних.

Проведено аналіз ключових проблем і підходів до моніторингу стійкості бортів кар'єрів, досліджено програмні системи, що використовуються у Кривбасі, та визначено оптимальні методи збору маркшейдерських і геофізичних даних.

Розроблено стратегію розробки та релізів системи GeoDATA Zones. Ця система дозволить автоматизувати розрахунки стійкості бортів кар'єрів, підвищуючи ефективність аналізу та управління ризиками. Програмний модуль, реалізований у середовищі Delphi, забезпечує швидкий та точний розрахунок коефіцієнта запасу стійкості з візуалізацією результатів у вигляді графіків і таблиць.

Впровадження системи сприяє зниженню часу аналізу даних, мінімізує людські помилки та підвищує швидкість прийняття управлінських рішень. Перспектива інтеграції з базами даних SQL дозволить виконувати централізоване зберігання й обробку інформації, що зробить систему масштабованою для різних гірничо-видобувних підприємств.

Отже, усі поставлені завдання виконано, а основна мета дослідження щодо підвищення ефективності управління гірничими роботами та мінімізації геотехнічних ризиків досягнута.

Ключові слова: стійкість бортів кар'єру, геофізичні дослідження, моделювання, маркшейдерські та геофізичні дані, аналіз даних, управління ризиками, програмне забезпечення, бізнес-вимоги, методологія Scrum, User Story Mapping.

SUMMARY

The master's thesis consists of an introduction, five chapters, conclusions, and a list of references. The total volume of the work is 108 pages, including 20 figures, 3 tables, and 2 appendix. The list of references includes 47 sources.

The aim of the study is to improve the efficiency of mining operations management and minimize the risks of emergency situations through the development and implementation of the GeoDATA Zones system. This system integrates, collects, processes, and analyzes mine surveying and geophysical data to monitor the stability of open-pit slopes.

The object of the study is the process of monitoring open-pit slope stability and analyzing the factors affecting slope stability.

The subject of the study is the methods and models for decision support in slope stability management to enhance mining safety and efficiency, as well as the development of software for evaluating slope stability based on mine surveying and geophysical data.

A comprehensive analysis of key challenges and approaches to monitoring open-pit slope stability was conducted, and existing software systems used in the Kryvyi Rih mining basin were examined. Optimal methods for collecting mine surveying and geophysical data were identified.

A development and release strategy for the GeoDATA Zones system was created. This system enables automated calculations of slope stability, improving the efficiency of analysis and risk management. The software module, implemented in Delphi, provides fast and accurate stability factor calculations, with visualization of results in graphical and tabular formats.

The implementation of the system helps reduce data analysis time, minimizes human errors, and accelerates decision-making processes. Future integration with SQL databases will allow centralized data storage and processing, making the system scalable for various mining enterprises.

Thus, all the research objectives were achieved, and the main goal—enhancing the efficiency of mining operations management and minimizing geotechnical risks—was successfully accomplished.

Keywords: open-pit slope stability, geophysical studies, modeling, mine surveying and geophysical data, data analysis, risk management, software, business requirements, Scrum methodology, User Story Mapping.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ КЛЮЧОВИХ ПРОБЛЕМ МОНІТОРИНГУ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	9
1.1 Дослідження ключових проблем і підходів до моніторингу та інтеграції даних про стійкість бортів кар'єрів	9
1.1.1 Визначення ключових проблем моніторингу стійкості бортів кар'єрів	9
1.1.2 Актуальність інтеграції маркшейдерських та геофізичних даних	12
1.2 Дослідження підходів та програмних систем, які застосовуються гірничорудними підприємствами у Кривбасі для збору даних.....	13
1.3 Аналіз підходів до збору маркшейдерських та геофізичних даних	15
1.4 Постановка задачі дослідження	18
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА СТІЙКІСТЬ КАР'ЄРНИХ БОРТІВ	21
2.1 Фактор базової стійкості гірського масиву	21
2.2 Фактор об'ємності.....	23
2.3 Фактор впливу буро-вибухових робіт	24
2.4 Фактор впливу наявності шахтних виробок	28
2.5 Фактор впливу тріщинуватості, через визначення параметрів фрактальної розмірності масиву	31
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРІВ.....	36
3.1 Формування бізнес-вимог до програмного забезпечення для аналізу стійкості бортів кар'єрів.....	36
3.2 Розробка функціональних вимог до системи GeoDATA Zones ...	39
3.3 Діаграма послідовності	46
3.4 Реалізація бази даних для обробки маркшейдерських та геофізичних даних.....	49
3.5 Організація процесу розробки програмного забезпечення.....	60
3.6 Розробка стратегії релізів для проекту з розробки системи GeoDATA Zones.....	63
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРУ.....	71
4.1 Інтеграція модуля оцінки стійкості бортів кар'єрів з системою GeoDATA Zones.....	71
4.2 Опис інтерфейсу модуля розрахунку стійкості бортів кар'єру	76
4.3 Перевірка працездатності модуля оцінки стійкості бортів кар'єрів на контрольному прикладі	82
4.3.1 Підготовка та аналіз вхідних даних для розрахунків стійкості бортів кар'єрів	82

4.3.2 Контрольний приклад для оцінки стійкості бортів кар'єрів..	86
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТІЙКІСТЮ БОРТІВ КАР'ЄРІВ	91
5.1 Обґрунтування доцільності розробки системи GeoDATA Zones	91
5.2 Економічна складова проекту	93
5.3 Неявний економічний ефект від впровадження GeoDATA Zones	96
ВИСНОВКИ	101
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103
ДОДАТОК А. Відомості роботи.....	109
ДОДАТОК Б. Публікацій за результатами виконання кваліфікаційної роботи.....	111

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Актуальність теми визначається необхідністю розробки новітніх методів і моделей для аналізу даних, використання яких дозволять підвищити ефективність управління стійкістю бортів кар'єрів. Забезпечення стійкості бортів кар'єрів є важливим аспектом діяльності гірничих підприємств, оскільки це напряду впливає на безпеку праці, збереження навколишнього середовища та ефективність виробничих процесів. Застосування сучасних маркшейдерських та геофізичних даних дозволяє вдосконалити процеси моніторингу і управління, забезпечуючи своєчасну оцінку стану гірських масивів та прийняття ефективних рішень для запобігання ризикових ситуацій. Використання інформаційних технологій і цифрового інтелекту створює нові можливості для вирішення існуючих проблем у цій сфері.

Постановка проблеми. Стійкість бортів кар'єру залежить від багатьох факторів: геометрії уступів, фізико-механічних властивостей порід, підземних вод, тріщинуватості та інших природних і техногенних впливів. Проте динамічні зміни цих параметрів не враховуються належним чином при плануванні та веденні гірничих робіт, що може призводити до втрати стійкості бортів, неконтрольованих зсувів й аварійних ситуацій. Сучасні методи оцінки, які засновані на статичних моделях, не дозволяють своєчасно враховувати зміну геотехнічних параметрів. Це може призвести до помилкових прогнозів, підвищення ризиків і додаткових фінансових витрат на ліквідацію наслідків нестабільності масиву. Недостатня оперативність оновлення розрахунків уразі зміни умов експлуатації ускладнює контроль за потенційно нестійкими ділянками. Відсутність гнучких аналітичних

інструментів обмежує можливість адаптації розрахункових методів до реальних умов кар'єру.

Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити програмну систему, використання якої дозволить забезпечити контроль за станом ділянок бортів кар'єру з урахуванням змін геотехнічних параметрів, точніше оцінити ризики та своєчасно прийняти рішення щодо забезпечення безпеки гірничих робіт. Для розробки такої системи необхідно впровадження засобів аналізу, прогнозування стійкості бортів кар'єру та адаптації розрахункових методів до змінних геотехнічних умов.

Метою дослідження є підвищення ефективності управління гірничими роботами та мінімізація ризиків аварійних ситуацій за рахунок розробки й впровадження системи "GeoDATA Zones", яка забезпечить інтеграцію, збір, обробку та аналіз маркшейдерських і геофізичних даних для моніторингу стійкості бортів кар'єрів.

Задачі дослідження:

- Провести дослідження ключових проблем і підходів до моніторингу та інтеграції даних про стійкість бортів кар'єрів.
- Дослідити підходи та програмні системи, які застосовуються гірничорудними підприємствами у Кривбасі для збору та аналізу даних, та проаналізувати особливості збору маркшейдерських і геофізичних даних.
- Сформулювати постановку задачі дослідження.
- Провести аналіз факторів впливу на стійкість кар'єрних бортів та визначити методики визначення цих факторів.
- Спроекувати та розробити програмне забезпечення для аналізу стійкості бортів кар'єрів.
- Провести інтеграцію модуля оцінки стійкості бортів кар'єрів з системою керування гірничими роботами.

- Перевірити працездатність програмного забезпечення на контрольних прикладах.

- Провести економічне обґрунтування проєкту щодо розробки програмного забезпечення для керування стійкістю бортів кар'єрів на основі маркшейдерських і геофізичних даних.

Об'єкт дослідження: процес моніторингу стійкості бортів кар'єрів та аналіз факторів впливу на стійкість кар'єрних бортів.

Предмет дослідження: методи та моделі для підтримки прийняття рішень про забезпечення керування стійкістю бортів кар'єрів для підвищення безпеки та ефективності гірничих робіт, розробка програмного забезпечення для оцінки стійкості бортів кар'єрів на основі маркшейдерських і геофізичних даних.

Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності. У даній роботі здійснено комплексний аналіз та узагальнення методів і моделей для підтримки прийняття рішень про забезпечення керування стійкістю бортів кар'єрів із застосуванням алгоритмічних підходів до прогнозування деформацій. Запропоновано удосконалений підхід до оцінки факторів, які впливають на стійкість гірничих масивів, що дозволить підвищити точність прогнозування ризиків аварійних ситуацій та розробити відповідні превентивні заходи.

Структура та обсяг роботи. Загальний обсяг роботи становить 108 сторінок, робота містить 20 рисунків та 3 таблиці, а також 2 додатка. Список використаних джерел включає 47 джерел.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ КЛЮЧОВИХ ПРОБЛЕМ МОНІТОРИНГУ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Дослідження ключових проблем і підходів до моніторингу та інтеграції даних про стійкість бортів кар'єрів

1.1.1 Визначення ключових проблем моніторингу стійкості бортів кар'єрів

Моніторинг стійкості бортів кар'єрів є одним із найважливіших завдань у гірничій промисловості, адже забезпечення безпеки працівників і навколишнього середовища залежить від своєчасного виявлення ризиків. Водночас існує низка проблем, які обмежують ефективність сучасних підходів до моніторингу.

Однією з основних проблем є недостатність інтегрованих підходів до обробки маркшейдерських і геофізичних даних. Більшість сучасних систем, що застосовуються в гірничорудній промисловості, працюють автономно, обмежуючи можливості для спільного використання результатів. Наприклад, маркшейдерські дані часто обробляються окремо від геофізичних, що ускладнює створення цілісної картини стану гірничого масиву. Це може призводити до пропуску критично важливих деталей або до розбіжностей у результатах, що впливає на прийняття управлінських рішень [1].

Ще однією важливою проблемою є обмежені можливості прогнозування зсувів і обвалів. Сучасні методи моніторингу базуються на використанні математичних моделей, які не завжди враховують всі змінні, що впливають на стабільність гірничих масивів. Наприклад, існуючі підходи часто ігнорують довгострокові зміни в гірничо-геологічних умовах, що може призводити до хибних прогнозів. Це

особливо небезпечно в умовах динамічного розвитку кар'єрів, де параметри стійкості можуть змінюватися протягом короткого часу [2].

Невчасний збір даних також є серйозним викликом. У багатьох гірничих підприємствах інформація про стан гірничих масивів збирається вручну або із запізненням, що унеможлиблює оперативну оцінку ризиків. Відсутність автоматизації процесів збору та аналізу даних призводить до значних витрат часу і ресурсів. Наприклад, застарілі методи, що вимагають фізичної присутності працівників у небезпечних зонах, підвищують ризик травматизму [3].

Ще однією значущою проблемою є відсутність адаптивних систем прийняття рішень. Існуючі програмні засоби, які застосовуються для моніторингу стійкості бортів кар'єрів, здебільшого орієнтовані на аналіз вже зібраних даних, а не на оперативне реагування на зміни в реальному часі. Це створює ризики для своєчасного усунення небезпечних ситуацій, що може мати катастрофічні наслідки. Наприклад, у разі виникнення зсувів або обвалів відсутність адаптивних рішень унеможлиблює миттєву евакуацію працівників або припинення робіт [4].

Також слід відзначити складнощі в інтерпретації отриманих даних. Геофізичні дані, що збираються в рамках моніторингу, зазвичай мають складну структуру і потребують високої кваліфікації для їх аналізу. Це стає значним бар'єром для впровадження сучасних технологій у гірничу галузь, особливо на підприємствах із обмеженими кадровими ресурсами. Наприклад, навіть використання програмного забезпечення з передовими аналітичними функціями не гарантує правильності інтерпретації результатів без відповідної підготовки персоналу [5].

Рішення цих проблем вимагає впровадження сучасних технологій, які дозволяють підвищити ефективність моніторингу. Одним із можливих підходів є розробка інтегрованих систем, що забезпечують

об'єднання маркшейдерських і геофізичних даних у єдиному програмному середовищі. Такі системи дозволяють створювати комплексні моделі стану гірничих масивів, враховуючи всі наявні змінні. Наприклад, застосування алгоритмів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних дозволяє підвищити точність прогнозів і скоротити час обробки інформації [6].

Автоматизація процесів збору даних також є ключовим напрямом для вдосконалення моніторингу. Використання безпілотних літальних апаратів і дистанційних сенсорів дозволяє отримувати дані в реальному часі без необхідності фізичної присутності працівників у небезпечних зонах. Це не лише підвищує ефективність збору даних, але й знижує ризики для працівників. Наприклад, безпілотники можуть забезпечувати регулярний моніторинг стану бортів кар'єру навіть у важкодоступних місцях [7].

Ще одним важливим рішенням є впровадження систем візуалізації результатів аналізу, які дозволяють оперативно оцінювати стан гірничих масивів і приймати відповідні рішення. Використання тривимірних моделей і інтерактивних інструментів візуалізації спрощує сприйняття складних даних і підвищує точність оцінок. Це особливо актуально для гірничих підприємств, де оперативність рішень може визначати безпеку працівників і ефективність виробництва [8].

Таким чином, вирішення ключових проблем моніторингу стійкості бортів кар'єрів потребує комплексного підходу, що включає інтеграцію даних, автоматизацію процесів збору, впровадження адаптивних систем і вдосконалення інтерпретаційних методів. Ці заходи дозволять підвищити безпеку та ефективність гірничих робіт, а також забезпечити стійкий розвиток гірничої промисловості.

1.1.2 Актуальність інтеграції маркшейдерських та геофізичних даних

Інтеграція маркшейдерських та геофізичних даних є однією з ключових задач у гірничій промисловості, оскільки це дозволяє значно підвищити точність оцінки стану гірничих масивів. Сучасні гірничі підприємства стикаються з низкою проблем, пов'язаних із фрагментацією даних. Застосування окремих систем для аналізу маркшейдерських і геофізичних даних ускладнює створення єдиної інформаційної бази, необхідної для ефективного управління стійкістю бортів кар'єрів.

Маркшейдерські дані традиційно використовуються для оцінки геометричних параметрів кар'єрів, таких як висота, кут нахилу бортів, а також для визначення точного положення гірничих об'єктів у просторі. Водночас геофізичні методи дозволяють отримати інформацію про внутрішню структуру гірських порід, їх фізичні властивості та динамічні характеристики. Об'єднання цих двох типів даних дозволяє створити комплексну модель, яка враховує як зовнішні, так і внутрішні параметри масиву.

Інтеграція даних георадарних обстежень із результатами маркшейдерських вимірювань дає змогу виявляти зони потенційної нестабільності, які залишаються невидимими для окремих методів дослідження. Це актуально для прогнозування зсувів і обвалів, коли потрібна максимально точна інформація про стан масиву [9].

Крім того, інтеграція даних сприяє вдосконаленню процесу прийняття управлінських рішень. Завдяки використанню об'єднаних даних підприємства можуть більш ефективно планувати гірничі роботи, мінімізуючи ризики для працівників та навколишнього середовища. Використання сучасних технологій, таких як бази даних з підтримкою

просторових і часових параметрів, дозволяє автоматизувати процес аналізу та створювати тривимірні моделі кар'єрів у режимі реального часу [10].

Отже, інтеграція маркшейдерських та геофізичних даних та їх аналіз є не необхідним для розробки рішень щодо підвищення безпеки гірничих робіт, є потужним інструментом для оптимізації виробничих процесів. Застосування інтегрованих систем дозволяє зменшити витрати, підвищити точність прогнозів та забезпечити сталий розвиток гірничих підприємств.

1.2 Дослідження підходів та програмних систем, які застосовуються гірничорудними підприємствами у Кривбасі для збору даних

Регіон Кривбасу є одним із найбільших центрів видобутку залізної руди в Україні. Гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК) цього регіону використовують сучасні інформаційні системи та бази даних для планування видобутку, моніторингу безпеки та оптимізації процесів. До таких підприємств належать Північний, Центральний, Інгулецький, Південний та інші ГЗК.

Типи даних та програмні системи:

- маркшейдерські дані описують розміри, форму та розташування гірничих виробок;

- програмне забезпечення MineSight підтримує 3D моделювання для аналізу геометрії гірничих масивів, Surpac дозволяє інтегрувати маркшейдерські дані з геофізичними для створення комплексних моделей;

- геофізичні дані дозволяють оцінювати фізичні властивості гірських порід;

- програмні системи Petrel підтримує тривимірне моделювання та інтеграцію даних для прогнозування стійкості масивів, Oasis Montaj використовується для аналізу магнітних, сейсмічних та інших геофізичних даних;

- екологічні дані містять інформацію про вплив видобутку на довкілля;

- інструменти MENI інтегрує дані для аналізу забруднення повітря, води та ґрунтів, GARD використовується для управління ризиками, пов'язаними з кислотним стоком.

Розглянемо використання даних у Кривбасі. ГЗК Кривбасу активно впроваджують інформаційні системи для інтеграції даних. Наприклад, Інгuleцький ГЗК використовує Surpac для побудови моделей кар'єрів, а Південний ГЗК застосовує Petrel для аналізу сейсмічних даних та оцінки стану масивів.

Методики збору даних:

- традиційні методи застосування GPS та лазерного сканування для маркшейдерських робіт;

- сучасні технології використання дронів для дистанційного моніторингу стану бортів кар'єрів та автоматизовані сенсори для збору геофізичних даних.

Аналіз перспектив:

1. Існуючі системи стикаються з такими обмеженнями:

- недостатня інтеграція маркшейдерських і геофізичних даних;
- обмежена можливість автоматичного аналізу великих обсягів інформації.

2. Подальший розвиток включає:

- впровадження платформ для об'єднання різних типів даних;

– використання штучного інтелекту для прогнозування стійкості масивів.

3. Розробка системи для аналізу зведених даних.

Цей огляд демонструє потенціал впровадження сучасних баз даних і методик збору для підвищення ефективності роботи гірничих підприємств у регіоні Кривбасу.

1.3 Аналіз підходів до збору маркшейдерських та геофізичних даних

1. Технології збору маркшейдерських даних. Маркшейдерські роботи є основою для планування та контролю гірничих робіт. Для збору даних застосовуються сучасні GPS-системи, лазерні сканери та тахеометри, які забезпечують високу точність вимірювань. Ці технології дозволяють створювати тривимірні моделі кар'єрів і виробок, оцінювати геометрію масивів і контролювати відповідність проектним рішенням. Наприклад, лазерне сканування дозволяє отримувати детальні дані про поверхню масиву, що використовуються для прогнозування ризиків зсувів або обвалів. GPS-технології забезпечують оперативний моніторинг змін у топографії кар'єрів і дозволяють інтегрувати дані в геоінформаційні системи.

2. Геофізичні методи дослідження масивів. Геофізичні методи дозволяють досліджувати внутрішню структуру гірських порід, їх фізичні властивості та виявляти потенційно нестабільні зони. До основних методів належать:

1) сейсмічні дослідження: використовуються для вивчення механічних властивостей масивів і виявлення зон тріщинуватості;

2) електророзвідка: дозволяє оцінювати електропровідність порід, що використовується для ідентифікації водонасичених зон або зон порушеної структури;

3) гравіметричні дослідження: ці дослідження базуються на вимірюванні варіацій гравітаційного поля Землі, що викликані неоднорідною щільністю гірських порід. Гравіметрія дозволяє виявляти аномалії в гравітаційному полі, які вказують на підземні порожнини, розломи, зони мінералізації чи інші геологічні особливості. Цей метод широко застосовується для ідентифікації геологічних структур, оцінки щільності гірських масивів та визначення зон ослаблення у гірничорудних регіонах.

Під час проведення геофізичних досліджень дані можуть записуватися в польові журнали для подальшої обробки. Ця практика забезпечує збереження інформації навіть у випадках технічних збоїв і дозволяє перенести дані в програмні комплекси для автоматичного аналізу.

3. Стандартизація та нормалізація даних для інтеграції. Для інтеграції маркшейдерських і геофізичних даних необхідно забезпечити їхню стандартизацію та нормалізацію. Це передбачає:

1) уніфікацію форматів даних для забезпечення сумісності між різними програмними системами;

2) використання стандартів міжнародних організацій, таких як ISO та OGC (Open Geospatial Consortium), для опису просторових даних.

3) попередню обробку даних для видалення шумів, корекції помилок і приведення даних до єдиного масштабного рівня.

Нормалізація даних дозволяє створювати інтегровані моделі гірничих масивів, що поєднують геометричну, фізичну та геологічну інформацію. Це підвищує точність аналізу та дозволяє оперативно реагувати на зміни в стані масивів.

4. Проблеми і виклики в зборі та обробці даних. Попри розвиток технологій, існує низка проблем, які ускладнюють збір і обробку даних. Основні виклики включають:

- нерегулярність збору даних: на багатьох підприємствах дані збираються з великими інтервалами, що ускладнює аналіз динамічних змін у масивах.

- фрагментація даних: маркшейдерські та геофізичні дані часто зберігаються в різних форматах і системах, що ускладнює їх сумісну інтерпретацію.

- відсутність автоматизації: ручний збір даних залишається поширеною практикою, що підвищує ризик помилок і потребує значних витрат часу.

- складність інтерпретації: геофізичні дані вимагають високої кваліфікації для аналізу, їх використання програмними засобами потребує відповідної підготовки персоналу, а також сумісна інтерпретація даних від маркшейдерських та геофізичних вимірів є досить складним завданням.

Подолання цих проблем вимагає впровадження сучасних автоматизованих систем збору та обробки даних, що забезпечують інтеграцію результатів з різних джерел і дозволяють отримувати комплексну картину стану гірничих масивів.

Отже, у сучасній гірничій промисловості обробка даних є критично важливим процесом для забезпечення ефективного управління, безпеки та стійкого розвитку. Використання передових методів, таких як SQL для аналітичної обробки, алгоритми машинного навчання для прогнозування ризиків і інтеграція різних типів даних у єдину платформу, стає основою для ухвалення інформованих рішень.

1.4 Постановка задачі дослідження

На основі проведених досліджень щодо ключових проблем і підходів до моніторингу та інтеграції даних про стійкість бортів кар'єрів, а також на основі аналізу сучасних методів обробки маркшейдерських і геофізичних даних було зроблено висновок щодо необхідності розробки програмної системи для управління стійкістю бортів кар'єрів на основі комплексного використання маркшейдерських і геофізичних даних.

Було сформовано мету роботи та задачі, які необхідно розв'язати для її досягнення

Отже, мета дослідження полягає у підвищенні ефективності передбачення деформаційних процесів та забезпечення своєчасного прийняття управлінських рішень для мінімізації геотехнічних ризиків за рахунок впровадження програмної системи, яка реалізує методи та моделі управління стійкістю бортів кар'єрів на основі комплексного використання маркшейдерських і геофізичних даних.

Завдання дослідження включають:

- розробку моделей передбачення стійкості масивів із застосуванням сучасних технологій;
- розробку вимог до програмної системи "GeoDATA Zones";
- створення алгоритмів для збору та обробки даних із різних джерел;

Кінцевим результатом дослідження є створення комплексної системи "GeoDATA Zones", яка дозволить:

- забезпечувати своєчасний моніторинг стану кар'єрів та їхніх бортів;
- інтегрувати дані у зручних форматах: вручну або при завантаженні CSV файлу;

- прогнозувати потенційні загрози та своєчасно вживати необхідних заходів;
- підтримувати процеси прийняття рішень на основі точних і оперативних даних.

Визначемо ключові аспекти сучасних методів обробки даних із акцентом на можливостях їх використання при розробці програмної системи "GeoDATA Zones", яка може інтегрувати традиційні й інноваційні технології для оптимізації процесів моніторингу та прогнозування.

1. Використання SQL (Structured Query Language) для аналітичної обробки даних. SQL є ключовим інструментом для обробки та аналізу великих обсягів даних у гірничорудній промисловості. Потенційне впровадження системи "GeoDATA Zones" дозволить використовувати SQL для створення складних запитів, які забезпечують:

- аналіз геометричних параметрів кар'єрів на основі маркшейдерських даних [8];
- оперативний доступ до геофізичних даних для оцінки стану масивів [11];
- генерацію звітів і візуалізацій для підтримки управлінських рішень.

Отже, завдяки SQL можна забезпечити оптимальну структуру баз даних, що підтримує роботу з великими масивами інформації. Наприклад, використання індексації та партиціонування даних дозволяє значно скоротити час виконання запитів, а інтеграція SQL з аналітичними інструментами забезпечує високу точність аналізу.

2. Інтеграція алгоритмів машинного навчання (ML) для прогнозування ризиків. Машинне навчання є потужним інструментом для прогнозування ризиків у гірничій промисловості. Система "GeoDATA Zones" повинна реалізувати ML-алгоритми для таких задач:

- прогнозування зсувів і обвалів на основі даних про деформації масивів;
- виявлення аномалій у геофізичних даних, які можуть сигналізувати про потенційні небезпеки;
- моделювання поведінки гірничих масивів при зміні навантажень.

Використання алгоритмів класифікації та регресії дозволяє обробляти дані в реальному часі. Наприклад, застосування моделей, таких як Random Forest або Gradient Boosting, забезпечує високу точність прогнозів і мінімізує ймовірність помилкових рішень.

3. Конкурентні переваги з існуючими системами. Система "GeoDATA Zones" повинна вирізнитися з існуючих рішень завдяки своїй інтеграційній спроможності та адаптивності. Наприклад, у порівнянні з традиційними програмами, як MineSight або Surpac, така система має забезпечити:

- єдину платформу для роботи з маркшейдерськими та геофізичними даними;
- можливість автоматичного прогнозування ризиків на основі інтегрованих алгоритмів ML;
- визначення місць виникнення можливих ризиків;
- простоту використання при завантаженні файлів даних та формуванні звітів у форматі PDF.

На відміну від розрізнених рішень, подібна система могла б запропонувати повний цикл обробки даних – від збору до аналітики та прогнозування. Це дозволило б підприємствам оптимізувати процеси, підвищити безпеку робіт і знизити витрати, пов'язані з управлінням ризиками. Отже, програмна система "GeoDATA Zones" повинна базуватися на принципах локальної обробки даних, що забезпечить її автономність і високу швидкість роботи, яка залежатиме тільки від завантаження у систему вихідних даних.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА СТІЙКІСТЬ КАР'ЄРНИХ БОРТІВ

2.1 Фактор базової стійкості гірського масиву

Фактор стійкості об'єднує в собі геологічну будову та геометрію ділянки борту, а також літологічний склад і розташування порід у масиві. Використовуються числові показники стійкості, які враховують геометричні і геологічні аспекти прибортового масиву. Розрахунок ведеться на основі коефіцієнту запасу стійкості гірських порід без врахування структурного ослаблення масиву за рахунок тріщинуватості та інших факторів.

Методологія розрахунку фактору базується на методі кінцевих елементів для розрахунку стійкості, що включає аналіз різних геометричних та геологічних параметрів борту.

Метод кінцевих елементів використовується для детального моделювання геомеханічного стану бортів кар'єру, базуючись на фізичних властивостях порід і ґрунтів. Для розрахунків стійкості застосовуються різноманітні формули, які включають граничні умови та матеріальні властивості. Розглянемо кілька ключових формул, які часто використовуються у методі кінцевих елементів.

Рівняння рівноваги:

$$\nabla \cdot \sigma + F = 0 \quad (2.1)$$

де σ - тензор напружень,

F - об'ємні сили (сила тяжіння).

Конститутивні рівняння (Закон Гука для лінійно-пружних матеріалів):

$$\sigma = D \cdot \varepsilon \quad (2.2)$$

де D - матриця матеріальних властивостей, що описує зв'язок між напруженнями і деформаціями,

ε - тензор деформацій.

Геометричні рівняння (взаємозв'язок між переміщеннями та деформаціями):

$$\varepsilon = \frac{1}{2} (\nabla u + \nabla u^T) \quad (2.3)$$

де u - вектор переміщень.

Рівняння для критерію пластичності (наприклад, критерій Мора-Кулона для гірських порід):

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan(\phi) + c \quad (2.4)$$

де τ - зсувне напруження,

σ_n - нормальне напруження на площині зсуву;

ϕ - кут внутрішнього тертя;

c - когезія породи (міра внутрішньої механічної міцності ґрунту або породи, яка визначає здатність матеріалу протистояти зсувним напруженням без руйнування).

Метод розрахунку коефіцієнта запасу стійкості. Коефіцієнт запасу стійкості (FoS) часто розраховують як відношення допустимих напружень до фактичних напружень у найбільш навантаженій точці борту. Цей підхід дозволяє оцінити стійкість борту за умови різних

навантажень і змін у властивостях матеріалу, включаючи наявність води, зміни температури та інше.

Ці рівняння і методики використовуються для створення числових моделей в програмному забезпеченні Plaxis, дозволяючи інженерам виконувати детальний аналіз стійкості гірських уступів та вирішувати комплексні інженерні задачі.

2.2 Фактор об'ємності

Фактор об'ємності враховує об'ємну структуру геометрію бортів, включаючи кут нахилу бортів та боковий опір, який створюється за рахунок геометрії борту. Аналізується зміна кута нахилу борту кар'єру внаслідок зміни об'ємних параметрів сусідніх зональних ділянок.

Методологія розрахунку. На розподіл ваги в межах бортів, що може спричинити зсуви або обвали.

Співвідношення, що зв'язує кути укосів об'ємного (вісесиметричного) і плоского бортів кар'єрів з однаковими коефіцієнтами запасу стійкості, представлено у вигляді:

$$a_{OC} = a_{пл} + \Delta a \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned}
\left(\frac{I_1}{\tau_{\max}}\right)^{OC} - \left(\frac{I_1}{\tau_{\max}}\right)^{III} = & 13.2379 + 6.1671\left(\frac{R}{H}\right) + 3.2917\left(\frac{R}{H}\right)^2 + \nu \left[-149.849 + 55.667\left(\frac{R}{H}\right) - 39.773\left(\frac{R}{H}\right)^2 \right] + \\
& + \nu^2 \left[318.80 - 175.26\left(\frac{R}{H}\right) + 113.80\left(\frac{R}{H}\right)^2 \right] + \alpha \left(-0.87624 + 0.46822\left(\frac{R}{H}\right) - 0.32649\left(\frac{R}{H}\right)^2 \right) + \\
& + \nu \left[8.4978 - 7.9158\left(\frac{R}{H}\right) + 5.3384\left(\frac{R}{H}\right)^2 \right] + \nu^2 \left[-16.667 + 17.709\left(\frac{R}{H}\right) - 11.901\left(\frac{R}{H}\right)^2 \right] + \\
& + \alpha^2 \left(0.016722 - 0.023065\left(\frac{R}{H}\right) + 0.014614\left(\frac{R}{H}\right)^2 \right) + \nu \left[-0.14746 + 0.22527\left(\frac{R}{H}\right) + 0.14399\left(\frac{R}{H}\right)^2 \right] + \\
& + \nu^2 \left[0.288 - 0.4629\left(\frac{R}{H}\right) + 0.2961\left(\frac{R}{H}\right)^2 \right],
\end{aligned} \tag{2.6}$$

Отриманий вираз справедливий для наступного діапазону зміни вихідних даних: $\nu = 0,2 \div 0,4$; $\alpha = 30 \div 70$, $R/H = 0,05 \div 1,5$.

При цьому вираз для визначення приросту до кута укусу $\Delta\alpha$ за рахунок кривизни борту в плані має вигляд:

$$\Delta\alpha = \frac{2}{3} \times \frac{\left(\frac{I_1}{\tau_{\max}}\right)^{OC} - \left(\frac{I_1}{\tau_{\max}}\right)^{III}}{\cos(\rho) \cdot (\eta \times \operatorname{ctg}(\varphi) \cdot \operatorname{ctg}(\rho) + 1)}; \tag{2.7}$$

де ρ – кут внутрішнього тертя;

η – коефіцієнт запасу стійкості плоского укусу; $\varphi = (\alpha + \rho)/2$.

2.3 Фактор впливу буро-вибухових робіт

Фактор сейсмічного впливу буро-вибухових робіт (БВР) зумовлений необхідністю проведення вибухів при видобутку. Масове

підривання свердловин призводить до порушень у гірському масиві, що виходять за межі уступів. Обсяг цих порушень залежить від маси вибухових речовин та фізико-механічних характеристик порід. Особливо схильні до руйнувань шари на межах між різними типами порід та сланцеві породи.

Руйнування проявляються у вигляді утворення слабких зон із тріщинами, що формуються у напрямку дії вибуху.

Методологія розрахунку: У псевдостатичному методі ефект землетрусу представляється як дія інерційних сил у вертикальному й горизонтальному напрямках, сили напрямлені у центр ваги блоку (рис.2.1).

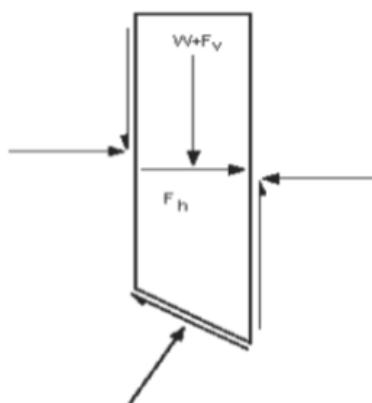


Рисунок 2.1 – Псевдосейсмічні сили, що діють на блок

Псевдосейсмічні сили в такому способі визначаємо за формулами:

$$F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W \quad (2.8)$$

$$F_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W \quad (2.9)$$

де W – вага блоку;

a_h і a_v – псевдостатичні прискорення, відповідно горизонтальні й вертикальні. Відношення a/g представляємо безрозмірним коефіцієнтом k ;

g – прискорення вільного падіння,.

Горизонтальна складова сейсмічного впливу відіграє значущу роль у стійкості бортів кар'єру порівняно з вертикальною.

У роботах К.А. Федіна [12, 13] описано методику врахування сейсмічної складової дії вибуху для обчислення коефіцієнту запасу стійкості.

Кількісний аналіз впливу масових вибухів проводиться на основі дії сейсмічних сил, генерованих сейсмічними хвилями, які викликають коливання породи. Ці коливання оцінюються через максимальні прискорення коливаючихся часток породи.

За другим законом Ньютона, максимальне прискорення a_i визначає максимальну силу інерції F_i , яка впливає на частинки гірської породи, опинившись під впливом цих сил:

$$F_i = -m_i \cdot a_i, \quad (2.10)$$

де m_i , – маса частини породного масиву, яка підпадає під дію сейсмічних коливань, кг.

Вектори прискорення при дії сейсмічних коливань розподіляються хаотично, у зв'язку з цим автором не приводиться їх описання. Тому, при визначенні напрямку дії вектора сили інерції приймається найбільш несприятливо орієнтований з погляду стійкості масиву. Таким напрямком є дотична до ймовірної поверхні зрушення, напрямлена убік відпрацьованої стінки борту кар'єру (рис. 2.2).

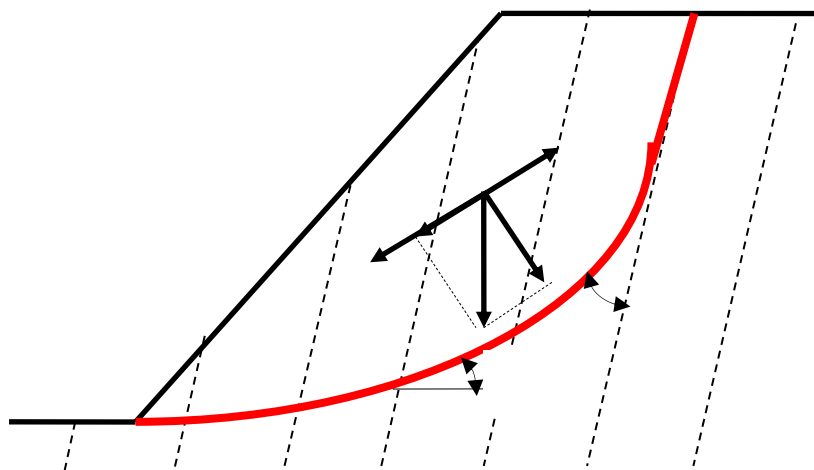


Рисунок 2.2 – Схема обчислення стійкості борту кар'єру з урахуванням сейсмічних впливів.

Зрушуючі сили, що діють по ймовірній поверхні ковзання у такому випадку визначаються через формулу (2.11), а КЗС η_3 , що враховує сейсмічний вплив вибуху на масив відповідає рівнянню (12).

$$\sum F_{зруш} = \sum_{i=1}^N m_i g \sin \beta_i + \sum_{i=1}^N m_i a_i, \quad (2.11)$$

$$\eta_3 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i g \cos \beta_i \cdot \text{tg } \varphi_i + \sum_{i=1}^N C_i \ell_i}{\sum_{i=1}^N m_i g \sin \beta_i + \sum_{i=1}^N m_i a_i}, \quad (2.12)$$

Результуюча формула для врахування сейсмічної складової при визначенні коефіцієнта запасу стійкості масиву гірських порід приймає вид:

$$a_{\phi} = k_a \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{r} \right)^{n_a}, \quad (2.13)$$

де q – маса вибухової речовини, що доводиться на ступінь уповільнення, кг;

a_{ϕ} – фактичне прискорення сейсмічних коливань породи, м/с²;

r – відстань від місця проведення вибуху до точки фіксації коливань, м; k_a ,

n_a – емпіричні коефіцієнти.

Результуюча формула, яка застосовується для включення сейсмічної складової при обчисленні коефіцієнта запасу стійкості гірського масиву, виглядає наступним чином:

$$\eta_3 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i g \cos \beta_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^N C_i \ell_i}{\sum_{i=1}^N m_i g \sin \beta_i + \sum_{i=1}^N m_i k_a \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{r} \right)^{n_a}}. \quad (2.14)$$

Отже, під час масових вибухів у кар'єрах коефіцієнт запасу стійкості (КЗС) ділянок борту кар'єру знижується пропорційно зростанню маси заряду вибухової речовини, що співвідноситься із ступенем уповільнення.

2.4 Фактор впливу наявності шахтних виробок

Фактор впливу шахти на стійкість бортів кар'єру визначається наявністю підземних гірничих робіт, які впливають на прилеглі до шахти

ділянки борту. Основний вплив цього фактора полягає в порушенні цілісності масиву порід і втраті сил зчеплення в зоні впливу шахтних виробок. Це відбувається через створення додаткових напружень і деформацій в породах, які можуть спричинити зсуви та обвалення.

Методологія розрахунку: ступенем порушеності породного масиву K_{HP} воронками вторинного обвалення є параметр, обумовлений з наступного співвідношення:

$$K_{HP} = \frac{L_0}{L} \cdot 100\% \quad , \quad (2.15)$$

де L – довжина призми можливого зрушення, м;

L_0 – довжина ділянки, де можливе перетинання поверхні зрушення із зоною виходу воронки вторинного обвалення на денну поверхню, м.

Розрахунок стійкості східного борту кар'єру з урахуванням зон воронкоутворення виконано за рівнянням виду [14, 15, 16]:

$$n_3 = n'_3 - \frac{\sum_{i=1}^N C_i S_i}{\sum_{i=1}^N V_i \gamma_i} K_{HP} / 100\% \quad , \quad (2.16)$$

де S_i – площа поверхні ковзання i -го розрахункового блоку, м²;

C_i – усереднене значення молекулярного зчеплення гірських порід по i -му розрахунковому блоку;

n_3 – коефіцієнт запасу стійкості борту кар'єру з урахуванням ступеня його порушеності вторинним воронкоутворенням, частки од.;

n'_3 – коефіцієнт запасу стійкості борту кар'єру не порушеного вторинним воронкоутворенням, частки од.;

V_i – об'єм i -го розрахункового блоку, м³;

γ_i – усереднена об'ємна вага гірських порід в i -му розрахунковому блоці, Н/м³;

n – число розрахункових блоків.

Дослідженнями встановлено, що розглянутий спосіб недостатньо точний у виді обліку порушеності масиву в розрізі, а не в об'ємі.

Для його уточнення пропонується врахувати просторові порушеності масиву гірських порід за наявними даними про положення мульди зрушення [14].

Так коефіцієнт порушеності пропонується визначати з відношення площ порушеної й загальної площі сектору борту:

$$K_{HP} = \frac{S_M}{S_c} \cdot M \cdot 100 \%, \quad (2.17)$$

де S_M – площа мульди зрушення в межах ділянки спостереження, м²;

S_c – площа ділянки борту, м²,

M – коефіцієнт впливу порушеності масиву, віднесений до певної зони мульди зрушення, для зони воронкоутворення даний коефіцієнт прийнятий за одиницю, для зони тріщин і терас він дорівнює 50%, а для зони плавних зрушень 25%.

За базовий вираз для розрахунків стійкості підпрацьованого масиву прийнято (2.17), його можна скоротити ввівши коефіцієнт K :

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N C_i S_i}{\sum_{i=1}^N V_i \gamma_i} \quad (2.18)$$

Після перетворення виразу (*) отримаємо:

$$n_3 = n'_3 - K \cdot K_{HP} / 100\% \quad (2.19)$$

2.5 Фактор впливу тріщинуватості, через визначення параметрів фрактальної розмірності масиву

Опис: значення фактору тріщинуватості порід планується визначати за допомогою аналізу фрактальної розмірності, що дозволяє оцінити структурну складність і розгалуженість тріщин. Цей метод передбачає використання математичних і комп'ютерних інструментів для вимірювання фрактальної розмірності тріщин, заснованих на тому, як детально тріщини заповнюють простір у породі. Чим вища фрактальна розмірність, тим більша складність і потенційна нестабільність породи, що важливо для оцінки її механічних властивостей та прогнозування поведінки масиву під час гірничих робіт або натуральних процесів [17, 18, 19].

Методологія розрахунку: у твердих тілах можуть одночасно існувати дефекти різного масштабу, формуючи декілька ієрархічних рівнів дефектності. Це призводить до ієрархічного розподілу навантажень, де деякі ділянки матеріалу можуть бути сильно перевантажені, тоді як інші — недовантажені або не несуть навантаження взагалі.

У контексті квазикрихкого руйнування, коли руйнування тіла відбувається відповідно до фрактального кластера з розмірністю ddd , який відповідає дефектній структурі, фрактальна розмірність мінімальної дефектної структури, що забезпечує руйнування, має бути не менше двох. Ця умова проявляється при певних обставинах, що вказують на основні принципи розподілу мікроструктурних неоднорідностей у матеріалі.

$$d = 2 - \frac{\ln\left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)}{\ln\frac{L}{\delta}} = 2 - \frac{\lg\left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)}{\lg\frac{L}{\delta}} \quad (2.20)$$

де σ_0 – міцність матеріалу, порушеного тріщинами й поверхнями ослаблення;

σ – руйнівне напруження для структурного елемента (зерна, куска, блоку) розміром δ ;

L – характерний розмір твердого тіла.

Перетворимо вищенаведений вираз до наступного виду:

$$\lg\frac{\sigma_0}{\sigma} = (2-d) \cdot \lg\frac{L}{\delta} \quad (2.21)$$

Враховуючи, що метою даного етапу дослідження є визначення ступеня стійкості уступів, груп уступів і бортів кар'єрів, складених скельними породами, відношення σ_0/σ у вище наведеній формулі, являє собою не що інше як коефіцієнт структурного ослаблення k_c .

Відношення лінійних розмірів L/δ , з формули (2.21), стосовно до розрахунків стійкості відкритих гірничих виробок необхідно розглядати як відношення ймовірного об'єму призми зрушення V до об'єму характерного структурного блоку V_0 .

Таким чином, вираз (2.21) можна переформулювати таким чином, щоб він дозволяв визначати коефіцієнт структурного ослаблення породного масиву з урахуванням зміни його фрактальної розмірності:

$$\lg k_c = (2-d) \cdot \lg\frac{V}{V_0} \quad (2.22)$$

Звідки одержуємо вираз для визначення коефіцієнта структурного ослаблення породного масиву залежно від його фрактальної розмірності:

$$k_c = 10^{(2-d) \cdot \lg \frac{V}{V_0}} \quad (2.23)$$

На рисунку 2.3 представлена графічна залежність коефіцієнта структурного ослаблення породного масиву від фрактальної розмірності за різних значень масштабного фактору.

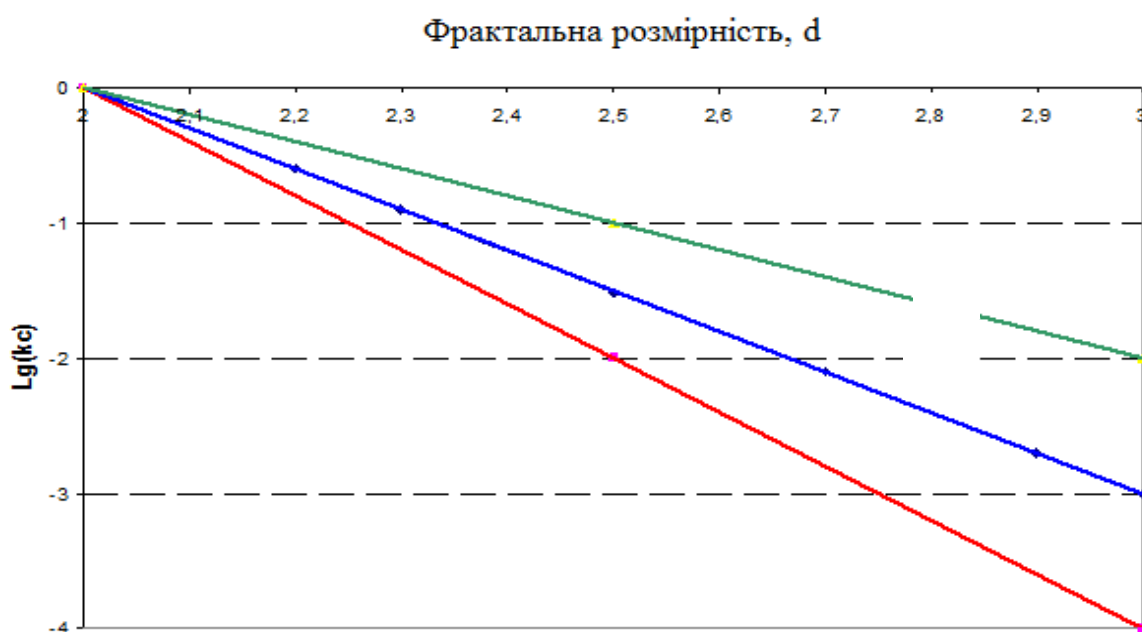


Рисунок 2. 3 – Залежність коефіцієнта структурного ослаблення k_c породного масиву від величини його фрактальної розмірності за різних значень масштабного фактора: 1) $\frac{V}{V_0} = 100$; 2) $\frac{V}{V_0} = 1000$; 3) $\frac{V}{V_0} = 10000$.

Методологія визначення фрактальної розмірності породного масиву за допомогою FracLac та ImageJ включає кілька ключових кроків.

Ця методика базується на аналізі зображень тріщин, що дозволяє оцінити структурну складність тріщиноватості порід. Ось основні етапи:

1. Збір зображень. Збір фотографій або сканів пород, які мають тріщини. Зображення мають бути чіткими і з високою роздільною здатністю для точності аналізу.

2. Підготовка зображень в ImageJ. Використовуючи ImageJ, зображення тріщин спочатку перетворюються на чорно-білі для кращої візуалізації і аналізу. Процес може включати:

- конвертацію в 8-бітне зображення;
- застосування порогового значення для виділення тріщин;
- очищення шумів та ізоляція тріщин від інших елементів зображення.

зображення.

3. Аналіз фрактальної розмірності в FracLac. Після підготовки зображень, вони імпортуються у FracLac, плагін для ImageJ, який дозволяє аналізувати фрактальну розмірність:

Box-counting метод – основний метод визначення фрактальної розмірності, де зображення поділяється на квадрати різних розмірів, і підраховується кількість квадратів, що містять частину тріщини.

Формула для розрахунку фрактальної розмірності (D) за методом box-counting:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log(1/\epsilon)}; \quad (2.24)$$

Нелінійний ріст фрактальної розмірності порушень, залежно від навантаження на зразок гірської породи.

Залежність описується наступним рівнянням:

$$d = d_0 + k(\sigma^2 - m\sigma) \quad (2.25)$$

4. Інтерпретація результатів. Вища фрактальна розмірність вказує на більшу складність і розгалуженість тріщин, що може вказувати на збільшену потенційну нестабільність породи.

Ця методологія дозволяє геологам та інженерам отримати кількісні показники структурної складності тріщиноватості гірських порід, що є важливим для оцінки стійкості гірських масивів та планування гірничих робіт.

Обґрунтування етапу: цей етап закладає основу для подальшого розроблення та впровадження системи, спрямованої на підвищення оперативності, точності аналізу та здатності до прийняття обґрунтованих рішень на основі комплексного аналізу інтегрованих даних [20, 21, 22, 23].

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРІВ

3.1 Формування бізнес-вимог до програмного забезпечення для аналізу стійкості бортів кар'єрів

На початковому етапі розробки програмного забезпечення для аналізу стійкості бортів кар'єрів були сформовані та проаналізовані бізнес-вимоги з урахуванням основних потреб стейкхолдерів проекту.

Усі основні бізнес-вимоги представлені у вигляді Mind Map – інтелектуальної карти [24]. Інтелектуальна карта, яку створено для системи "GeoDATA zones", структуровано відображає основні процеси та компоненти системи (рис.3.1). Mind Map розроблено за допомогою інструменту Miro [25].Ось детальний опис кожного елемента:

1. Збір даних.

Планування – цей етап включає в себе організацію та підготовку до збору даних, де фахівці (маркшейдери, геологи, геофізики) планують свої дії, обирають методики та визначають періодичність збору інформації.

Збір польових даних – на цьому етапі відбувається безпосередній збір даних на місцевості за допомогою різноманітного обладнання, яке дозволяє фіксувати геологічні, метеорологічні, та інші важливі параметри.

Обробка даних – перевірка зібраних даних на повноту та точність, їх первинна обробка і перетворення до форматів, які можна вводити в систему.

Введення даних – передача оброблених даних у систему через інтерфейс "GeoDATA zones" для подальшої їх цифрової обробки та зберігання.



Рисунок 3.1 – Розумова карта

2. Аналіз даних.

Вибір даних – аналітик визначає, які дані зі зібраних є потрібними для аналізу відповідно до встановлених задач.

Використання аналітичних інструментів – застосування статистичних та аналітичних інструментів, інтегрованих у "GeoDATA zones", для обробки та аналізу даних.

Складання звітів – підготовка звітів на основі аналізу даних, які включають висновки та рекомендації, і можуть бути використані для прийняття управлінських рішень.

3. Моніторинг безпеки.

Отримання звітів та сповіщень — інспектори отримують з системи звіти та алерти, які інформують про потенційні ризики та небезпечні умови.

Оцінка та прийняття рішень – аналіз отриманої інформації та визначення необхідних заходів для забезпечення безпеки.

4. Управління даними.

Налаштування системи – конфігурація параметрів системи для відповідності вимогам безпеки та ефективності обробки даних.

Управління користувачами – створення, редагування, видалення користувацьких акаунтів, управління правами доступу.

Моніторинг системи – регулярний огляд активності системи для забезпечення її стабільності та безпеки.

5. Аварійне реагування.

Активація протоколів – автоматичне включення аварійних процедур при виявленні загроз.

Оцінка ситуації – аналіз поточної ситуації для визначення необхідних дій.

Комунікація та координація — взаємодія з технічною підтримкою та іншими відділами для координації відповідних дій.

6. Аудит та звітність.

Планування – організація ресурсів та визначення графіка аудиту.

Збір та аналіз даних – автоматичний збір та аналіз даних для аудиту.

Перевірка відповідності – оцінка даних на предмет відповідності внутрішнім та зовнішнім вимогам.

Подання звітів стейкхолдерам – генерація та доставка детальних звітів стейкхолдерам і регуляторам.

7. Навчання та сертифікація користувачів.

Реєстрація та оцінка – процес реєстрації та оцінки нових користувачів системи.

Навчальний процес – вивчення правил користування системою та інших важливих аспектів.

Тестування та сертифікація – проведення тестів для перевірки знань та навичок, видача сертифікатів успішно навченим користувачам.

3.2 Розробка функціональних вимог до системи GeoDATA Zones

Основне призначення системи GeoDATA Zones – це систематизація даних, проведення розрахунків та інших операцій для оптимізації процесів управління та аналізу гірничих робіт, що буде забезпечувати їх ефективність.

Першим кроком проектування системи "GeoDATA zones" є складання Use Case діаграми [26, 27].

Діаграма варіантів використання системи "GeoDATA zones" представлена на рис.3.2.

Опишемо усі варіанти використання (Use Cases) та користувачів (акторів), які будуть взаємодіяти з системою.

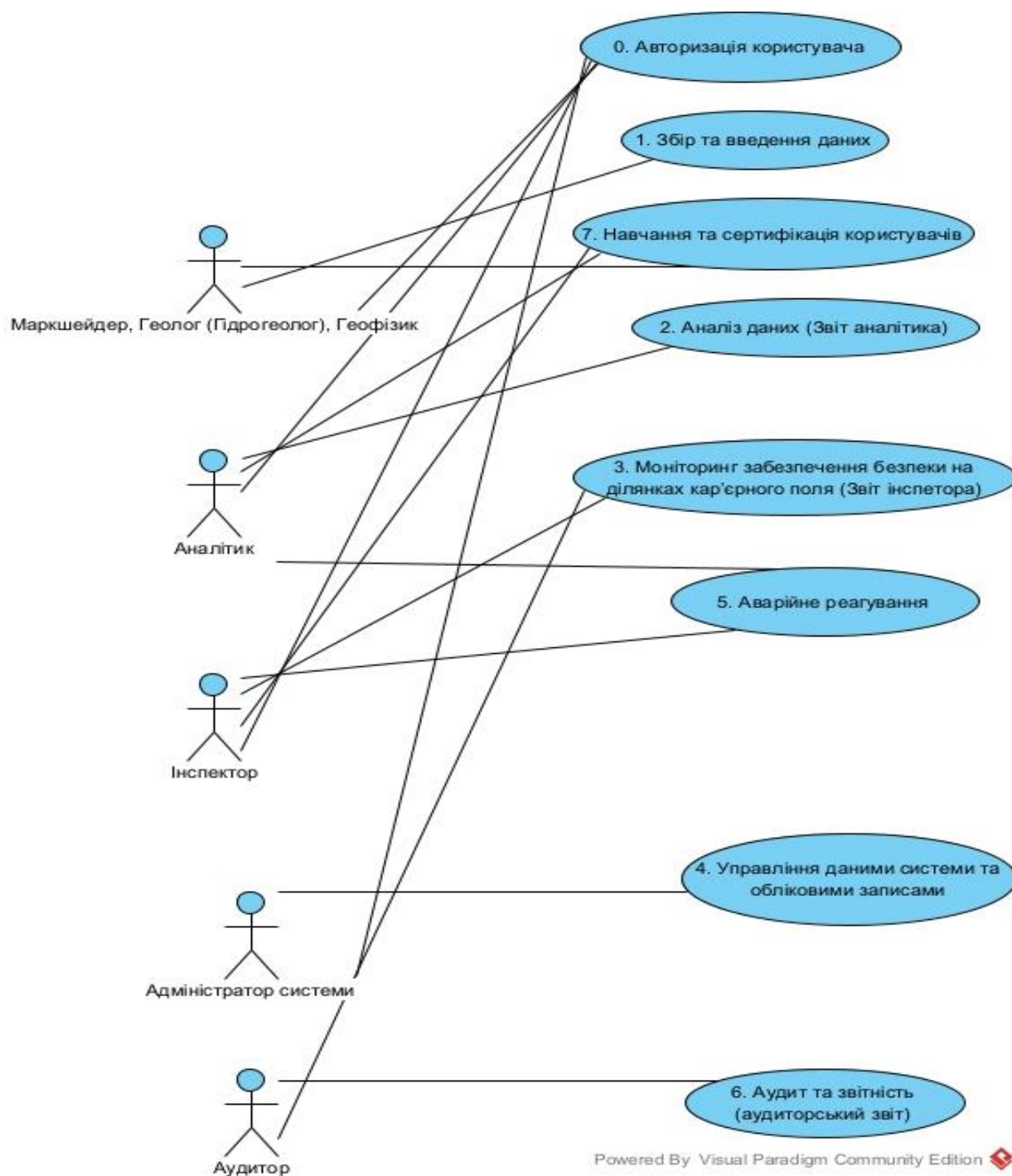


Рисунок 3.2 – Use Case діаграма

Варіант використання 1. Збір та введення даних.

Актори: маркшейдер, геолог (гідрогеолог), геофізик.

Маркшейдери та геологи збирають геодані на ділянках кар'єру, приводять їх до відповідного вигляду, який розуміє система. Вводять ці дані в систему "GeoDATA zones" для подальшого аналізу та зберігання.

Актори мають можливість виконувати такі дії.

1. Планування збору даних: маркшейдери, геофізики та геологи планують свої маршрути, методи та періодичність збору даних залежно від необхідності проведення спосетрежень на ділянках.

2. Збір натурних (польових) даних: використання різноманітного обладнання та технологій для збору необхідних даних, таких як координати, геологічні зразки, висотні дані, геофізичні дані, заміри тріщинуватості, тощо.

3. Первинна обробка даних: перевірка зібраних даних на повноту та точність перед введенням у систему, при необхідності перетворення даних до формату, передбаченого системою.

4. Введення даних у систему: використання інтерфейсу "GeoDATA zones" для введення даних у відповідні бази даних, забезпечення їх цифрової обробки та зберігання.

5. Перевірка та валідація даних: система автоматично перевіряє нові дані на відповідність стандартам і правилам системи.

Результат: дані ефективно зібрані, оброблені та занесені до системи, готові для подальшого аналізу, можливо попередній аналіз даних.

Варіант використання 2. Аналіз даних.

Актори: Аналітик.

Аналітик використовує функції системи для аналізу зібраних даних, виявлення паттернів, ризиків та можливостей для покращення безпеки при веденні гірничих робіт.

Аналітик має можливість виконувати такі дії.

1. Вибір даних для аналізу: аналітик визначає, які дані потрібні для аналізу згідно з поставленими задачами та запитам.

2. Використання аналітичних інструментів: застосування статистичних та аналітичних інструментів вбудованих в "GeoDATA zones" для обробки даних. (такими інструментами можуть стати виділені кольором дані у відповідності до категорії небезпеки дані, залежно від типу даних та їх значень).

3. Інтерпретація результатів: аналіз отриманих результатів для виявлення трендів, аномалій та ризиків.

4. Складання звітів: підготовка звітів, які на основі аналізу даних, містять проаналізовані дані; висновки та рекомендації аналітика; електронний підпис аналітика.

5. Передача звітів інспекторам: формуються звіти у форматі PDF, звіти відправляються інспекторам або виставляються у системі для доступу.

Результат: зібрані дані аналізовані, і на їх основі складені звіти (аналітика), які можуть використовуватися для прийняття рішень.

Варіант використання 3. Моніторинг забезпечення безпеки на ділянках кар'єрного поля.

Актори: Інспектор.

Інспектор використовує систему для моніторингу безпеки на ділянках кар'єру, аналізуючи звіти (аналітика) та алерти, генеровані на основі аналізу даних аналітиком.

Інспектор має можливість виконувати такі дії.

1. Отримання звітів (аналітика) та алертів: інспектор регулярно отримує звіти та алерти з системи, які попереджають про потенційні небезпечні умови або зміни значення фактору (визначають фактори, які мають відповідний тип).

2. Оцінка інформації: аналіз звітів та алертів для визначення дій, необхідних для підтримання безпеки на ділянці.

3. Складання звіту інспектора та координація з іншими відділами: за потреби інспектор звертається до інших відділів, таких як

технічна підтримка або оперативні команди, для вжиття необхідних заходів, складає звіти «Інспектора», які включають (при необхідності), розпорядження про виконання заходів з забезпечення стійкості бортів кар'єрів на ділянках кар'єрного поля.

4. Виконання заходів безпеки: інспектором визначаються відповідальні особи за реалізацію заходів, викладених у звіті «Інспектора».

Результат: забезпечення постійного моніторингу безпеки, швидке реагування на потенційні загрози та підтримання історії безпекових інцидентів для аналізу та удосконалення.

Варіант використання 4. Управління даними системи та обліковими записами.

Актори: адміністратор системи.

Адміністратор системи забезпечує налаштування, обслуговування та управління користувацькими обліковими записами та доступом до системи, слідкує за адекватністю збереження даних у системі та займається оновленням та підтримкою працездатності системи.

Адміністратор має можливість виконувати такі дії.

1. Налаштування системи: конфігурація параметрів системи відповідно до вимог безпеки та ефективності обробки даних.

2. Управління користувачами: створення, редагування та видалення користувацьких облікових записів, надання або обмеження доступу до ресурсів системи.

3. Моніторинг стану системи: регулярний перегляд журналів активності та системних оповіщень для забезпечення стабільності та безпеки роботи системи.

4. Вжиття заходів у разі проблем: реагування на технічні проблеми або безпекові інциденти, співпраця з технічною підтримкою або зовнішніми консультантами для їх вирішення.

5. Документування дій у системі: запис усіх виконаних у системі дій і відповідних результатів цих дій в системі (забезпечення створення логів дій у системі).

6. Оновлення програмного забезпечення: впровадження оновлень програмного забезпечення, патчів безпеки та нових функцій.

Результат: забезпечення належного адміністрування системи, висока надійність та безпека управління даними та користувацькими процесами.

Варіант використання 5. Аварійне реагування.

Актори: інспектор, аналітик, адміністратор системи.

Механізми системи реагують на потенційні аварійні ситуації, активуючи процедури швидкого реагування для мінімізації ризиків та наслідків.

Актори мають можливість виконувати такі дії.

1. Активація аварійного протоколу: при виявленні потенційної аварії система автоматично активує відповідні аварійні протоколи та сповіщає відповідний персонал.

2. Оцінка ситуації аналітиком: аналітик оцінює дані та обставини для визначення необхідних дій.

3. Комунікація з технічною підтримкою та інспекторами: інформування відповідальних осіб для вжиття заходів та координація дій.

4. Документування та аналіз інциденту: збір інформації про інцидент для аналізу та вдосконалення процедур безпеки.

Результат: ефективне та швидке реагування на виникнення аварійної ситуації, шляхом встановлення рівня важливості звіту, наприклад зелений жовтий, червоний. При червоному рівні звіту, може бути налаштоване автоматичне сповіщення відповідальної особи або персоналу, який знаходиться у відповідній зоні.

Варіант використання 6. Аудит та звітність.

Актори: Адміністратор системи; особи, яким надано тимчасовий доступ до системи шляхом створення облікового запису у системі та надання повноважень відповідного рівня доступу.

Система забезпечує інструменти для ведення аудиту, перевірки відповідності процесів вимогам та звітність перед стейкхолдерами.

Актори мають можливість виконувати такі дії.

1. Планування аудиту: визначення графіка аудиту та необхідних ресурсів.

2. Збір та аналіз даних: автоматичний збір даних для аудиту.

3. Перевірка відповідності: оцінка даних на предмет відповідності внутрішнім політикам та зовнішнім регулятивним вимогам.

4. Складання звітів: генерація детальних звітів для внутрішнього та зовнішнього використання.

5. Подання звітів стейкхолдерам: доставка звітів відповідним стейкхолдерам та регуляторам.

Результат: забезпечення прозорості та відповідності роботи системи, висока довіра з боку зовнішніх та внутрішніх стейкхолдерів.

Варіант використання 7. Навчання та сертифікація користувачів.

Актори: нові користувачі, система.

Система надає навчальні модулі та матеріали для підготовки та сертифікації користувачів, забезпечуючи їхню компетентність та ефективність у роботі. (може бути виконана у вигляді тестування. При реєстрації нового користувача пройти обов'язкове ознайомлення з інструкцією, пройти тестування на відповідність знань щодо роботи з системою)

Актори мають можливість виконувати такі дії.

1. Реєстрація та оцінка користувачів: нові користувачі реєструються в системі.

2. Навчальний процес: користувачі ознайомлюються з системою, вивчаючи правила користування системою та інші важливі аспекти.

3. Тестування та оцінка знань: проведення тестів для перевірки знань та вмінь користувачів.

4. Сертифікація: видача сертифікатів (дозвіл акаунту для користування системою) користувачам, які успішно пройшли навчання (ознайомлення з правилами користування системою, її можливостями) та тести.

5. Звітність та аналіз результатів: моніторинг ефективності навчальних програм та внесення необхідних корективів.

6. Результат: підвищення кваліфікації та компетенцій користувачів, забезпечення ефективного та безпечного використання системи "GeoDATA zones" у їх професійній діяльності.

3.3 Діаграма послідовності

Діаграма послідовності для системи GeoDATA Zones ілюструє основні процеси взаємодії між учасниками системи та модулями під час виконання ключових завдань [27]. Наведемо опис основних елементів діаграми.

1. Користувач:

- виконує вхід до системи (авторизація);
- виконує операції збору та обробки даних;
- вводить дані до системи GeoDATA Zones.

2. GeoDATA Zones:

- центральний модуль системи забезпечує зберігання даних, їх аналіз, генерацію звітів і взаємодію з іншими учасниками;

- виконує обробку даних і їх аналіз, готує звіти та надсилає їх стейкхолдерам;

- підтримує технічну інтеграцію та оновлення.

3. Керівництво:

- переглядає результати аналізу;

- затверджує звіти;

- отримує звіти про безпеку та дані про виконання технічних рішень.

4. Інспектори безпеки:

- виконують аналіз даних щодо порушень або потенційних небезпек;

- готують звіти про інциденти та перевіряють відповідність даних вимогам безпеки.

5. Геологи:

- виконують аналіз геологічних даних;

- забезпечують оновлення даних із польових досліджень.

6. IT-відділ забезпечує технічну підтримку, оновлення системи та інтеграцію нових модулів.

Опишимо основні кроки, які послідовно реалізуються

1. Авторизація користувача.

2. Збір і обробка даних.

3. Аналіз і генерація звітів включає:

- вибір даних для аналізу та виконання аналітичних операцій у модулі GeoDATA Zones;

- інтерпретація результатів аналізу;

- підготовка проєктів звітів, їх рецензування та затвердження керівництвом.

4. Поширення результатів у вигляді розсилки затверджених звітів стейкхолдерам та зворотний зв'язок щодо результатів аналізу.

5. Моніторинг безпеки передбачає, що:

– інспектори отримують дані про порушення або потенційні небезпеки;

– формуються звіти про інциденти та заходи для усунення ризиків.

6. Оновлення системи передбачає, що:

– IT-відділ підтримує працездатність системи та здійснює її оновлення.

– геологи забезпечують актуальність геологічних даних.

7. Завершення роботи після виконання всіх завдань.

Діаграма послідовності для системи GeoDATA Zones наведена на рис.3.3.

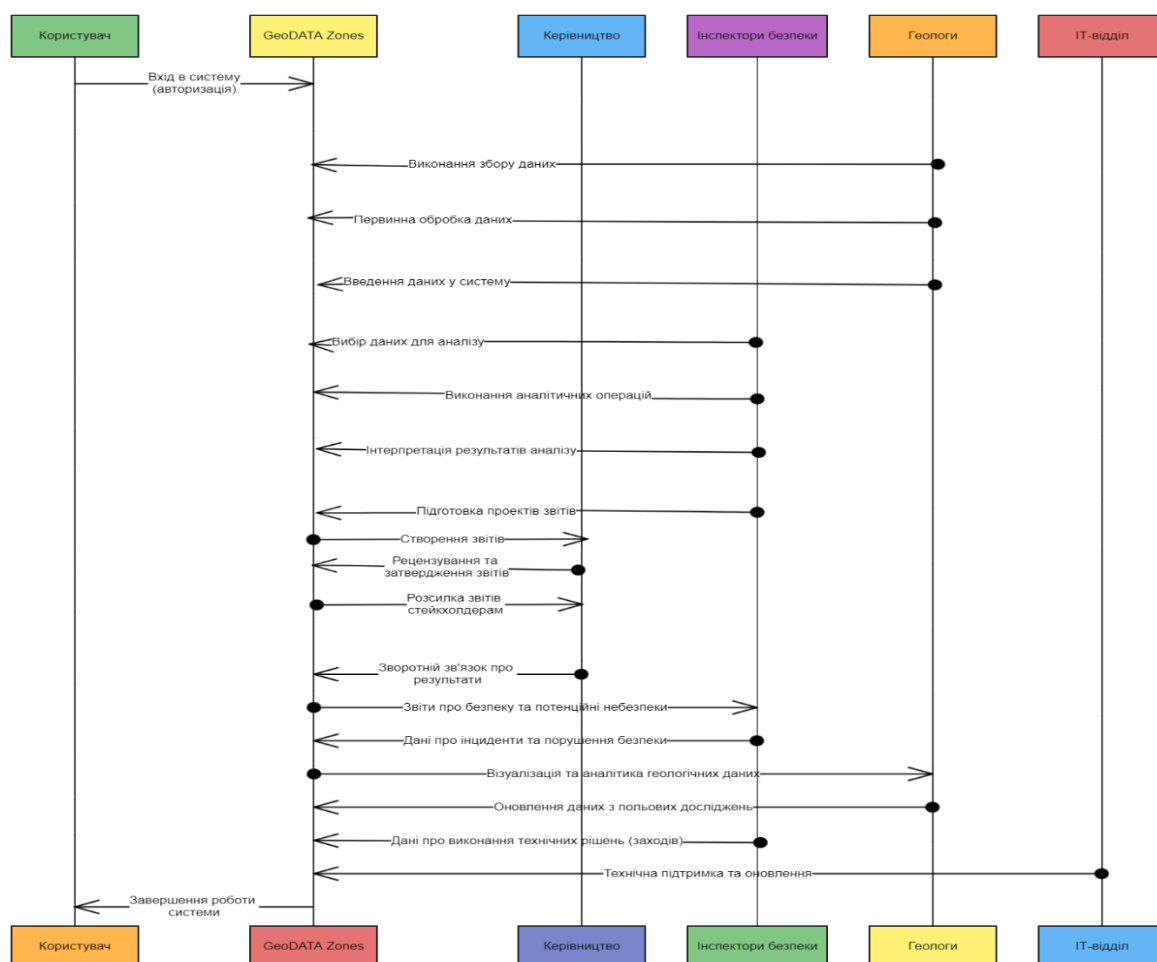


Рисунок 3.3 – Діаграма послідовності для системи GeoDATA Zones

Треба звернути увагу на такі аспекти.

Потоки даних: дані передаються між учасниками системи, модулями та аналітичними інструментами.

Автоматизація: значна частина процесів автоматизована для зниження людських помилок.

Спільна робота: учасники взаємодіють через модулі GeoDATA Zones, забезпечуючи комплексний аналіз і моніторинг.

3.4 Реалізація бази даних для обробки маркшейдерських та геофізичних даних

У сучасних умовах розвитку гірничої справи та геофізичних досліджень обробка великих обсягів даних стає важливою складовою ефективного управління процесами та забезпечення безпеки робіт. Система GeoDATA Zones передбачає використання маркшейдерських і геофізичних даних для здійснення аналітичних операцій, прогнозування ризиків та створення звітів. Одним із ключових елементів цієї системи є база даних, яка забезпечує зберігання, обробку та доступ до геопросторової інформації та результатів вимірювань.

Створення бази даних для системи GeoDATA Zones має враховувати специфіку геофізичних вимірювань, таких як аналіз впливу шахтних виробок, облік фрактальної розмірності зон, водонасиченість, фактор безпеки та інші параметри. Зв'язки між даними різних вимірювань, геодезичними точками та зонами впливу дозволяють здійснювати комплексний аналіз та інтегрувати різні аспекти досліджень у межах однієї системи. Особлива увага приділяється збереженню

цілісності даних і забезпеченню можливості виконання складних аналітичних запитів.

Розроблена структура бази даних, яка включає основні сутності, їхні атрибути та зв'язки. Серед ключових сутностей — геофізики, інженери-геодезисти, зони впливу, точки вимірювань, профільні лінії, аналітики, інспектори та інші елементи, що забезпечують роботу системи. Для кожної сутності визначено унікальні атрибути та зв'язки, що дозволяють ефективно зберігати та обробляти інформацію. Опис зв'язків між сутностями гарантує можливість інтеграції різнорідних даних і підтримку комплексного аналізу [28, 29, 30, 31]. Реалізація бази даних спрямована на забезпечення масштабованості та продуктивності, враховуючи можливість розширення системи у майбутньому. Також у процесі проектування враховані особливості роботи з геопросторовими даними, що дозволяє зберігати та аналізувати координати, результати вимірювань та зони впливу. Впровадження цієї бази даних є фундаментом для реалізації аналітичних можливостей системи GeoDATA Zones.

1. Geofisics. Ця сутність представляє опис геофізиків, які займаються замірами геофізичних параметрів у різних зонах:

- Geofisic ID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор геофізика;
- Geofisic Full Name: varchar(255) - повне ім'я геофізика;
- Instrument Factory Number: integer(10) – заводський номер інструмента.

2. Impact of the mine. Ця сутність описує наявність впливу підземних шахтних виробок або пустот в межах зони.

- ID of mine measurement: integer(10) (Primary Key) – ідентифікатор заміру впливу шахти;

- Geofisic/GeoFosic ID: integer(10) – ідентифікатор геофізика, який проводив заміри;
- ZonesZoneID: integer(10) – ідентифікатор зони, де проводилися заміри;
- Measurements Time: time(7) – час заміру;
- Value of impact: real(10) – значення впливу, виміряне гравіметром або приведене до безрозмірної величини (поки що не склав послідовну методику розрахунку, тому розмірність не вказую).

3. Fractal dimension. Ця сутність включає дані про фрактальні вимірювання у зонах впливу:

- Fractal ID: integer(10) (Primary Key) - ідентифікатор заміру фрактальної розмірності;
- ZonesZoneID: integer(10) - ідентифікатор зони, де проводилися виміри;
- Geofisic/GeoFosic ID: integer(10) - ідентифікатор геофізика, який проводив заміри;
- Fractal dimension: real(10) - фрактальна розмірність, виміряна у зоні;
- Measurements Time: time(7) - час заміру.

4. Factor of safety (FoS). Ця сутність включає дані про коефіцієнт запасу стійкості (КЗС) у зонах впливу:

- Factor of safety ID: integer(10) (Primary Key) - ідентифікатор заміру КЗС;
- ZonesZoneID: integer(10) - ідентифікатор зони, де проводилися виміри;
- Geofisic/GeoFosic ID: integer(10) - ідентифікатор геофізика, який проводив заміри;
- Value: integer(10) - значення фактора безпеки, виміряне у зоні;
- Measurements Time: time(7) - час заміру.

5. Zones. Ця сутність представляє географічні або умовні зони, які вивчаються або моніторяться в рамках проекту:

- ZoneID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор зони;
- Zone name: varchar(255) - назва зони;
- X1Coordinate - Y4Coordinate: real(10) - координати зони (4 точки для визначення положення).

6. Geologist (Hydrogeologist). Ця сутність представляє геологів, які спеціалізуються на гідрогеології або геології:

- Geologist ID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор геолога;
- Geologist Full Name: varchar(255) - повне ім'я геолога;
- Position: varchar(255) - посада (геолог, гідрогеолог).

7. Water saturation in the zone. Ця сутність включає дані про рівень водонасиченості землі у зонах вивчення:

- Water saturation ID: integer(10) (Primary Key) - ідентифікатор заміру водонасиченості;
- Geologist (Hydrogeologist/Geologist) ID: integer(10) - ідентифікатор гідрогеолога або геолога, який проводив заміри;
- ZonesZoneID: integer(10) - ідентифікатор зони, де проводилися виміри;
- Influence of water saturation: real(10) - вплив рівня водонасиченості на зону (В залежності від типу порід, які є в зоні, для скельних порід рівень впливу води менший, для ґрунтових, глинистих - більший);
- Time: time(7) - час заміру.

8. Engineer Surveyor. Ця сутність описує інженерів-геодезистів, які відповідають за точні геодезичні виміри по профільним лініям:

- Engineer surveyor ID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор інженера-геодезиста;
- Position: varchar(255) - посада інженера-геодезиста, вказує на спеціалізацію та обов'язки в рамках проекту;
- MeasurementTime: time(7) - час, коли були проведені виміри;
- Instrument Inventory Number: varchar(50) - інвентарний номер використовуваного інструменту;
- Engineer Surveyor Full Name: varchar(255) - повне ім'я інженера-геодезиста, що включає ім'я, прізвище та по батькові.

9. Point of measurement. Ця сутність представляє точки, у яких проводяться заміри, кожна точка відноситься до відповідної профільної лінії:

- NP Point: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор точки заміру;
- Engineer surveyor/Engineer surveyor ID: integer(10) - ідентифікатор інженера-геодезиста, який проводив заміри;
- XCoordinate - ZCoordinate: real(10) - координати точки заміру (X, Y, Z);
- Measurement time: time(7) - час проведення заміру.

Можливо буде включено додатковий атрибут дельта, який буде показувати зміщення точки, вираховується як теперішня координата мінус попередня. Можливо треба включити у ці дані № зони, до якої відноситься точка.

10. Measure Line. Ця сутність представляє результати заміру, які виконуються по профільним лініям:

- Line ID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор лінії заміру;
- Point of measurement/N Point: integer(10) - точка заміру або номер точки;

– № of survey line: integer(10) - номер геодезичної профільної лінії до якої відноситься точка.

11. Geodata Profile. Ця сутність представляє профіль геоданих, зібраних для кожної зони:

– Geodata Profile ID: integer(10) (Primary Key) - ідентифікатор профілю геоданих на основі яких буде складатися звіт;

– ZonesZoneID: integer(10) - ідентифікатор зони, для якої були зібрані дані.

12. Analysts. Ця сутність представляє аналітиків, які аналізують зібрані дані та створюють звіт аналітика.

– AnalystID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор аналітика;

– Name: varchar(255) - повне ім'я аналітика;

– Position: varchar(255) - посада аналітика;

– Completion Time: time(7) - час завершення аналізу.

13. Reports. Ця сутність включає звіти, які створює аналітик на основі зібраних даних:

– ReportID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор звіту;

– GeoDataID: integer(10) - ідентифікатор геоданих, які використовуються у звіті;

– AnalystID: integer(10) - ідентифікатор аналітика, який склав звіт;

– GenerationTime: time(7) - час створення звіту;

– Geodata AnalystsGeodata ID profile Geodata Profile ID: integer(10) - ідентифікатор профілю геоданих, який використовується у звіті.

Можливо треба якийсь атрибут додатково, або вилучити звіт з коментарями аналітика

14. Inspectors. Ця сутність представляє інспекторів, які перевіряють дотримання стандартів та норм, завіряють звіт аналітика,

при необхідності, якщо треба правки або вживати конкретні заходи щодо забезпечення безпеки у зоні/зонах ведення гірничих робіт, складає «Звіт інспектора», доповнюючи звіт аналітика:

- InspectorID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор інспектора;

- ID: integer(10) - ідентифікатор, який може бути використаний для внутрішньої ідентифікації;

- FullName: varchar(255) - повне ім'я інспектора;

- Position: varchar(255) - посада інспектора;

15. Accidents. Ця сутність включає інформацію про нещасні випадки, які сталися в зонах впливу:

- AccidentID: integer(10) (Primary Key) - унікальний ідентифікатор нещасного випадку;

- ZoneID: integer(10) - ідентифікатор зони, де стався нещасний випадок;

- AccidentReportID: integer(10) - ідентифікатор звіту про нещасний випадок;

- AccidentTime: time(7) - час нещасного випадку;

- Description: varchar(max) - опис нещасного випадку.

Опишемо зв'язки між сутностями.

1. Geofisic - Impact of the mine. Зв'язок Один до багатьох (1:N): кожен геофізик може виконувати багато геофізичних замірів. Кожен замір по впливу шахти може бути пов'язаний лише з одним геофізиком. Це означає, що один геофізик може бути відповідальним за декілька замірів у різних часових моментах або в різних зонах, але кожен конкретний замір прив'язаний лише до одного геофізика, який його провів.

2. Impact of the mine – Zones. Зв'язок багато до одного (N:1): Кожен замір по впливу шахти може відповідати тільки одна зона, але у кожній зоні може бути виконано багато різних замірів впливу шахти.

3. Fractal dimension – Zones. Зв'язок Один до багатьох (1:N): Кожне вимірювання фрактальної розмірності може бути пов'язане лише з однією зоною, але в одній зоні можуть проводитись багато різних вимірювань фрактальної розмірності.

4. Factor of safety (FoS) – Zones. Зв'язок Один до багатьох (1:N): Кожен замір коефіцієнта запасу стійкості може бути пов'язаний лише з однією зоною, але в одній зоні можуть проводитись багато різних вимірювань коефіцієнта запасу стійкості.

5. Geologist (Hydrogeologist) - Water saturation in the zone. Зв'язок Один до багатьох (1:N): кожен геолог може виконувати багато замірів водонасиченості, але кожне конкретне вимірювання водонасиченості пов'язане тільки з одним геологом.

6. Water saturation in the zone – Zones. Зв'язок Один до багатьох (1:N): Кожен замір водонасиченості може бути пов'язаний лише з однією зоною, але в одній зоні можуть проводитись багато різних вимірювань водонасиченості.

7. Measure Line - Point of measurement. Зв'язок Один до багатьох (1:N): Кожна профільна лінія може мати багато точок заміру, але кожна точка заміру пов'язана тільки з однією профільною лінією.

8. Engineer Surveyor - Point of measurement. Зв'язок Один до багатьох (1:N): Кожен інженер-геодезист може виконувати заміри у багатьох точках, але кожна конкретна точка заміру пов'язана тільки з одним інженером-геодезистом.

9. Geodata Profile – Zones. Зв'язок Багато до одного (N:1): Багато різних профілів геоданих можуть відповідати одній і тій же зоні. Це означає, що в рамках однієї зони може бути зібрано та збережено декілька різних наборів геоданих, кожен з яких представляє собою

окремий профіль. Кожен такий профіль містить унікальні дані, які можуть відображати різні часові періоди, типи замірів або специфічні аспекти досліджень в межах цієї зони. Проте, кожен конкретний профіль геоданих прив'язаний тільки до однієї зони, яка визначає географічний контекст і рамки для збору та аналізу цих даних.

Цей зв'язок підкреслює, що різні дослідження або проекти можуть використовувати різні набори даних з однієї зони, але кожний набір даних має чітку географічну прив'язку до цієї зони, що забезпечує відповідність і точність аналізу.

10. Analysts – Reports. Зв'язок Один до багатьох (1:N): Кожен аналітик може створювати багато звітів, але кожен звіт пов'язаний тільки з одним аналітиком.

11. Reports - Geodata Profile. Зв'язок Один до багатьох (1:N): Кожен звіт базується на даних з одного профілю геоданих, але кожен профіль геоданих може бути використаний у багатьох звітах.

12. Reports – Inspectors. Зв'язок Багато до багатьох (N:M): Цей зв'язок дозволяє кожному інспектору перевіряти багато звітів, а кожен звіт може бути перевірений багатьма інспекторами. Це зумовлено необхідністю залучення кількох інспекторів для забезпечення повної перевірки даних та дотримання встановлених процедур або стандартів. Зазвичай, такі зв'язки реалізуються через додаткову таблицю, яка в базі даних називається "таблицею зв'язків" або "таблицею асоціацій", де кожен запис відображає зв'язок між певним звітом та інспектором.

13. Geodata Profile – Reports – Analysts. Зв'язок Багато до Багатьох (N:M) між Geodata Profile та Reports з посередництвом Analysts.

Кожен профіль геоданих може використовуватися у багатьох звітах, а кожен звіт може використовувати дані з одного чи декількох профілів геоданих. Це дозволяє забезпечити широкий аналіз різних аспектів даних, зібраних з різних зон.

Водночас кожен звіт має одного відповідального аналітика, який відповідає за його складання і аналіз. Це забезпечує чітке присвоєння відповідальності та ведення записів про хід робіт.

Реалізація бази даних для системи GeoDATA Zones є важливим етапом у створенні інструменту, що забезпечує ефективне управління даними та проведення аналітичних операцій. У процесі розробки бази даних було враховано специфіку гірничих та геофізичних досліджень, що дозволило створити структуру, яка забезпечує не лише зберігання великих обсягів даних, але й їх обробку та аналіз.

Завдяки правильній організації сутностей і зв'язків між ними, база даних дозволяє інтегрувати маркшейдерські, геофізичні, геодезичні та інші дані, необхідні для моніторингу стану кар'єрів та зон впливу. Включення таких ключових елементів, як геофізичні вимірювання, фрактальна розмірність, водонасиченість, профільні лінії та звіти, дозволяє системі працювати комплексно та забезпечувати підтримку прийняття рішень у реальному часі.

Особливу увагу приділено забезпеченню цілісності даних, підтримці масштабованості та можливості інтеграції з іншими інформаційними системами. Відповідна організація зв'язків між сутностями гарантує гнучкість і продуктивність бази даних навіть за умов зростання обсягів інформації.

Таким чином, реалізація бази даних стала міцним фундаментом для подальшого розвитку системи GeoDATA Zones. Вона забезпечує ефективне зберігання й обробку інформації, відкриває широкі можливості для аналізу даних та є основою для створення звітів, які сприяють прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Діаграма «сутність-зв'язок» наведена на рисунку 3.4.

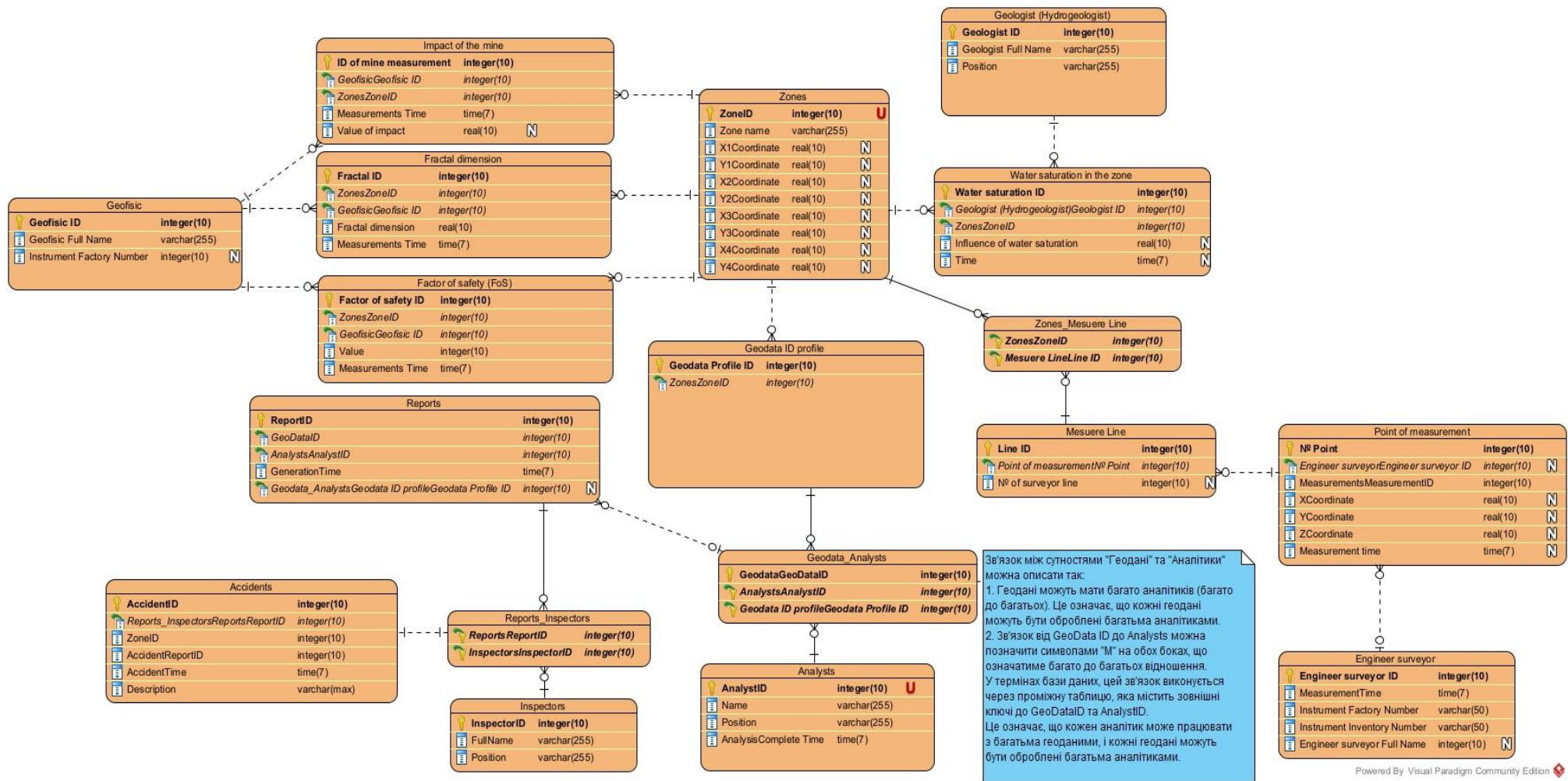


Рисунок 3.4 – Діаграма «сутність-зв'язок»

3.5 Організація процесу розробки програмного забезпечення

Розробка програмного забезпечення для аналізу стійкості бортів кар'єрів є складним процесом, що вимагає координації між різними фахівцями. Виходячи зі складності проєкту з розробки ПЗ, на початкових етапах розробки доцільно зосередитися на ключових ролях, що забезпечать ефективне виконання проєкту з розробки системи.

Для успішного створення системи GeoDATA Zones необхідно забезпечити ефективну взаємодію між керівниками проєкту, розробниками, аналітиками даних, тестувальниками, дизайнерами інтерфейсу та спеціалістами з безпеки.

Кожен член команди виконує важливу роль у проєкті, забезпечуючи відповідність програмного продукту технічним вимогам, стабільність його роботи та високу точність аналізу геоданих.

Чітке визначення відповідальності кожного учасника проєкту дозволяє ефективно розподілити завдання, мінімізувати ризики та досягти високої якості кінцевого продукту [28].

Розглянемо ключових учасників проєкту.

1. Керівник проєкту (Project Manager) відповідає за загальне керівництво проєктом, управління ресурсами, часовими рамками та бюджетом. Він також координує роботу всіх команд і забезпечує зв'язок між стейкхолдерами і командою розробників.

2. Технічний директор (СТО або Chief Technology Officer) відповідає за технічну стратегію проєкту, включно з вибором технологій, плануванням системної архітектури та забезпеченням технічної реалізації проєкту відповідно до поставлених цілей.

3. Команда розробників відповідає за написання коду, інтеграцію системи, тестування та деплоймент. Вони працюють над створенням

функціональних можливостей системи та забезпеченням її стабільності і безпеки.

4. Команда аналітиків даних (Data Analysts) збирає, обробляє і аналізує дані та їх взаємозв'язок у системі "GEODATA Zone". Вони відповідають за забезпечення точності даних та уникнення спотворень при передачі даних між модулями системи, що забезпечує рішення, прийняті на основі даних.

5. Команда QA (Quality Assurance) відповідає за забезпечення якості програмного продукту через систематичне тестування, виявлення багів та невідповідностей у функціональності перед їх релізом.

6. UI/UX дизайнери працюють над розробкою інтерфейсу користувача, що є критично важливим для забезпечення зручності використання системи кінцевими користувачами. Вони відповідають за створення дизайну, що відповідає потребам користувачів та максимально ефективно взаємодіє з ними.

7. Спеціалісти з безпеки (Security Specialists) відповідають за забезпечення безпеки системи від зовнішніх загроз та внутрішніх вразливостей. Розробляють стратегії захисту даних, впроваджують заходи щодо забезпечення цілісності та конфіденційності інформації.

8. Комунікаційний менеджер (Communications Manager) відповідає за забезпечення ефективного інформаційного обміну між усіма учасниками проекту та зовнішніми стейкхолдерами. Розробляє і впроваджує комунікаційні стратегії, організовує зустрічі, конференції та інші заходи.

Ці ролі і відповідальності забезпечать успішну розробку та впровадження системи "GEODATA Zone", забезпечуючи всебічний підхід до управління проектом, технічної реалізації, забезпечення якості та безпеки.

Однак, враховуючи неможливість на даному етапі зібрати настільки потужну команду, для невеликої команди ключовими будуть наступні три людини:

1. Керівник проекту (Project Manager) проекту відповідає за загальне керівництво проектом, управління ресурсами, часовими рамками та бюджетом. Він також координує роботу всіх команд і забезпечує зв'язок між стейкхолдерами і командою розробників. Ефективне управління проектом включає планування, вирішення конфліктів, забезпечення комунікації та впровадження змін.

2. Архітектор програмного забезпечення/Старший розробник (Software Architect/Senior Developer) відповідає за проектування та розробку архітектури системи. Він розробляє технічні специфікації та визначає, як компоненти системи будуть взаємодіяти між собою, забезпечуючи масштабованість, безпеку та високу продуктивність. Архітектор також відіграє ключову роль у виборі технологій і рішень, які впливатимуть на загальну структуру та можливості системи.

3. Розробник програмного забезпечення (Software Developer) програміст зосереджений на написанні коду, інтеграції з базами даних та бібліотеками, а також відповідає за деплоймент та встановлення програмного забезпечення. Він розробляє конкретні функції і модулі системи, забезпечуючи їх відповідність технічним вимогам і користувацьким очікуванням. Також цей розробник відіграє важливу роль у забезпеченні взаємодії програми з зовнішніми сервісами та оптимізації продуктивності.

Кожен з цих учасників вносить вирішальний внесок у успіх проекту, починаючи з планування на рівні керівництва і закінчуючи технічною реалізацією та оптимізацією програмного забезпечення.

3.6 Розробка стратегії релізів для проєкту з розробки системи GeoDATA Zones

Запропоновано розробку системи GeoDATA Zones здійснити за гнучкою методологією SCRUM. Методологія Scrum передбачає розробку ПЗ спринтами – короткими ітераціями. Тривалість ітерації визначається специфікою проєкту. У результаті реалізації спринту отримується якась версія робочого ПЗ з очікуваним приростом функціоналу. Наприкінці кожного спринту проводиться представлення та аналіз отриманих результатів – реліз. Стратегія релізів передбачає поетапне розгортання основних функцій системи з урахуванням критичності, важливості для користувачів та доступних технічних можливостей.

У процесі розробки системи GeoDATA Zones було визначено чітку стратегію релізів та пріоритезацію функціональності, що дозволило поступово впроваджувати нові можливості та ефективно використовувати ресурси проєкту.

Розроблено план реалізації ключових компонентів GeoDATA Zones, їх поступове розширення, а також визначені пріоритетні напрямки розвитку, що забезпечать високу ефективність аналізу стійкості бортів кар'єрів [29, 30, 31, 32, 33].

Пріоритизацію функціональності здійснюється на основі актуальних потреб фахівців, які працюють із даними маркшейдерських та геофізичних вимірювань, забезпечуючи оптимальний баланс між можливостями системи та її продуктивністю [34, 35].

Результати пріоритизації функціональних та нефункціональних вимог до системи "GeoDATA zones" наведено у табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Пріоритизацію вимог до системи "GeoDATA zones"

Вимога	Опис	Пріоритет
Функціональні вимоги		
Збір геоданих	Система повинна мати можливість підвантаження геоданих у форматі CSV та можливість введення геоданих вручну, можливість редагувати геодані.	Must have (M)
Аналіз геоданих	Система повинна мати механізми аналізу зібраних даних для виявлення потенційних факторів ризику з прив'язкою до відповідної зони.	M
Моніторинг виконання заходів безпеки	Система має моніторити статус виконання рекомендованих заходів безпеки, що включає перевірку виконання заходів на місцях і оцінка їх ефективності після виконання.	M
Складання звітів	Система має автоматично генерувати звіти на основі аналізу даних, які містять оцінку факторів, що впливають на стан гірського масиву в межах зони.	M
Встановлення рівнів важливості звітів	Необхідно забезпечити мінімум три рівні важливості звіту, рівень можливості вказується для кожного звіту, наприклад: – зелений (немає значних змін критерію безпеки по зонах, що включені до звіту), – жовтий (є деякі погіршення рівнів безпеки по зонах, що включені до звіту), – червоний (необхідно негайне реагування, є критичні зміни рівнів безпеки по зонах, що включені до звіту).	M

Продовження таблиці 3.1

Вимога	Опис	Пріоритет
Ведення історії змін та архівація даних	<p>Система повинна містити компонент аудиту (логування), який автоматично реєструє всі зміни, внесені у базу даних. Кожен запис у журналі змін повинен включати наступну інформацію:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ідентифікатор користувача, який вніс зміни; - часова мітка, коли були внесені зміни; - опис змін, що включає деталі про модифіковані дані, такі як попередні та нові значення важливих полів. <p>технічні вимоги:</p> <ul style="list-style-type: none"> - лог повинен бути захищений від несанкціонованого доступу та змін, щоб забезпечити цілісність та надійність збереженої інформації. - система має підтримувати налаштування рівня деталізації логування. 	Should have (S)
Мобільний доступ	Система має надавати мобільний доступ для зручності користувачів, що працюють в полі, дозволяючи виконувати моніторинг та керування даними на місцях.	S
Генерування рекомендаційних заходів для забезпечення безпеки	Система може мати механізм для автоматичного генерування рекомендованих заходів, що дозволять підвищити безпеку ведення гірничих робіт в межах зони	Could have (C)
Інтерактивний обмін повідомленнями	Система має дозволяти користувачам обмінюватися повідомленнями в реальному часі для координації дій та швидкого реагування на зміни умов.	C
Інтеграція з іншими системами	Система має забезпечувати можливість інтеграції з існуючими корпоративними системами замовника для спрощення обміну даними і звітів.	C

Продовження таблиці 3.1

Вимога	Опис	Пріоритет
Нефункціональні вимоги		
Безпека	Система має забезпечити захист зібраних даних від несанкціонованого доступу, включаючи шифрування даних і забезпечення доступу через безпечні протоколи.	M
Надійність	Система має бути стабільною та надійною при виконанні всіх функцій, забезпечуючи безперебійну роботу 24/7.	M
Масштабованість	Система має підтримувати масштабування, щоб адаптуватися до зростаючого обсягу даних та користувачів без втрати продуктивності.	S
Підтримка багатомовності	Система повинна підтримувати кілька мовних версій для зручності користувачів з різних країн та культурних регіонів.	C
Розширені можливості кастомізації інтерфейсу користувача	Надання користувачам можливості налаштувати інтерфейс та звіти системи відповідно до їх специфічних потреб і ролей у проекті.	C

User Story Mapping для системи "GeoDATA Zones" наведено на рис.3.5.

Опишемо основні етапи розробки ПЗ – релізи.

Release 1. Базова функціональність.

1.Організувати дані:

– первинна обробка даних: забезпечує очищення та структурування вхідних даних;

– введення даних у систему – базова функція для початкового наповнення системи інформацією.

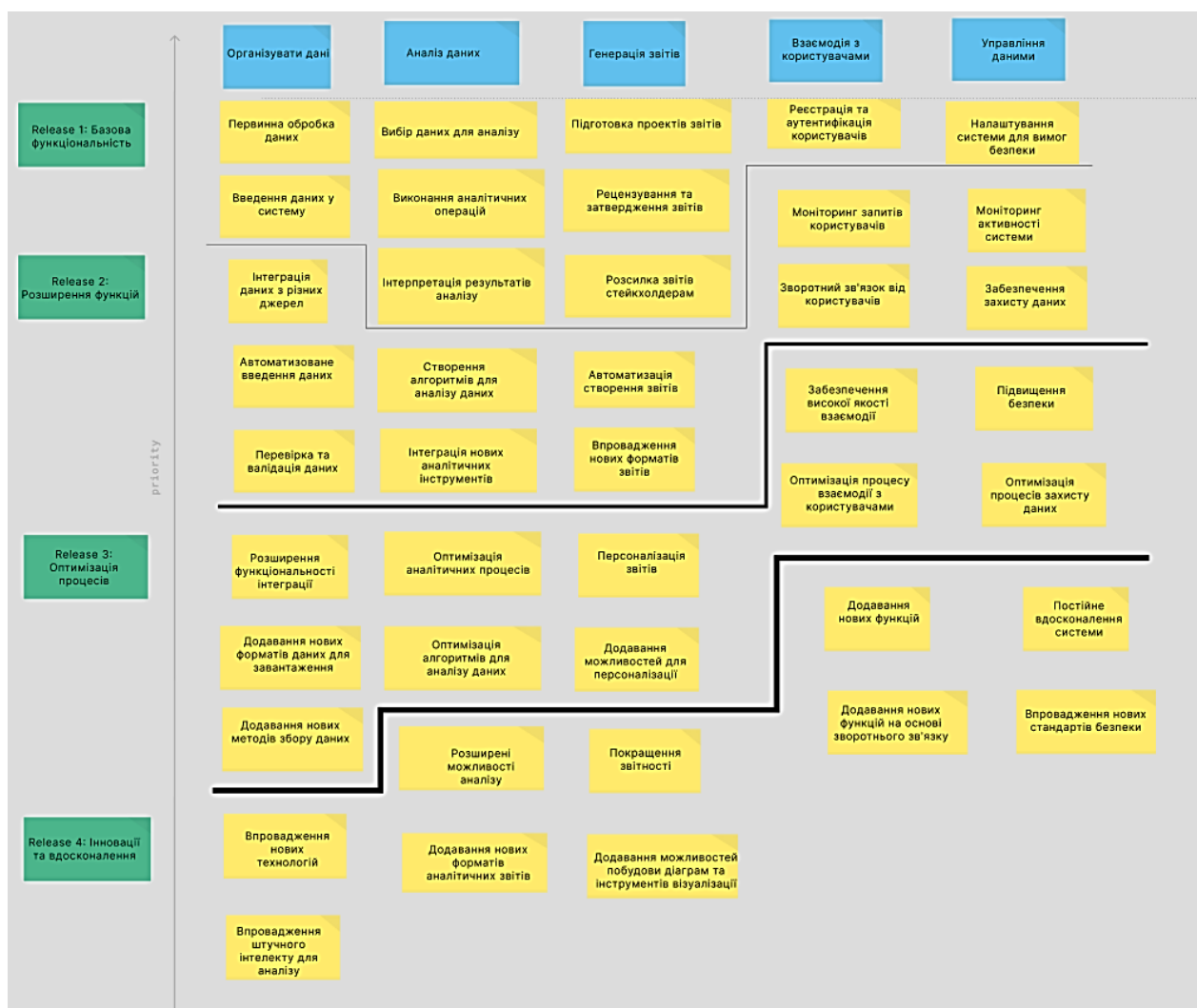


Рисунок 3.5 – User Story Mapping для системи «GeoDATA Zone»

2. Аналіз даних:

- вибір даних для аналізу: базовий механізм, що дозволяє користувачам вибирати потрібну інформацію;
- виконання аналітичних операцій: реалізація базових алгоритмів аналізу даних;
- інтерпретація результатів аналізу: надання зрозумілих висновків за результатами аналітичних обчислень.

3. Генерація звітів:

- підготовка проєктів звітів: створення шаблонів для майбутніх звітів;

- рецензування та затвердження звітів: можливість перевірки звітів перед фінальним затвердженням;

- розсилка звітів стейкхолдерам: базовий механізм поширення звітів.

4. Взаємодія з користувачами:

- реєстрація та автентифікація користувачів: забезпечення доступу до системи лише авторизованим особам;

- моніторинг запитів користувачів: фіксація та аналіз запитів для покращення роботи системи.

5. Управління даними:

- налаштування системи для вимог безпеки: базова реалізація захисту даних;

- базовий моніторинг активності системи: фіксація основних подій та активності для запобігання помилкам.

Release 2. Розширення функцій.

Другий реліз розширює функціональність системи, додаючи автоматизацію та інтеграцію з новими інструментами.

1. Організація даних:

- автоматизоване введення даних: зменшення ручної роботи користувачів через інтеграцію автоматичних процесів;

- перевірка та валідація даних: забезпечення точності та коректності введеної інформації.

2. Аналіз даних:

- створення алгоритмів для аналізу даних: розширення можливостей аналізу завдяки новим підходам;

- інтеграція нових аналітичних інструментів: використання спеціалізованого ПЗ для роботи з даними.

3. Генерація звітів:

- автоматизація створення звітів: автоматичне формування звітів на основі вхідних даних;
- впровадження нових форматів звітів: підтримка PDF, Excel, інші формати.

4. Взаємодія з користувачами: забезпечення високої якості взаємодії: оптимізація інтерфейсу для покращення користувацького досвіду.

5. Управління даними:

- підвищення безпеки: впровадження нових методів захисту даних;
- моніторинг активності системи: фіксація основних подій та активності для запобігання помилкам.

Release 3. Оптимізація процесів.

Третій реліз фокусується на вдосконаленні існуючих процесів і підвищенні ефективності роботи системи.

1. Організація даних:

- розширення функціональності інтеграцій: підключення нових джерел даних та сервісів;
- додавання нових форматів даних для завантаження: підтримка нестандартних форматів.

2. Аналіз даних:

- оптимізація алгоритмів для аналізу даних: зниження часу обробки та підвищення точності;
- розширені можливості аналізу: додавання нових функцій для більш детального аналізу.

3. Генерація звітів:

- персоналізація звітів: можливість користувачів налаштовувати формат та структуру звітів.

- додавання можливостей для персоналізації: налаштування звітів під конкретні потреби.

4. Взаємодія з користувачами: оптимізація процесу взаємодії з користувачами: поліпшення навігації та доступності інтерфейсу.

5. Управління даними: оптимізація процесів захисту даних: використання нових методів шифрування та контролю доступу.

Release 4. Інновації та вдосконалення. Останній реліз зосереджений на впровадженні новітніх технологій і створенні інноваційних можливостей.

1. Організація даних:

- впровадження нових технологій: використання сучасних підходів до обробки даних;

- Додавання нових методів збору даних: підтримка IoT, сенсорів тощо.

2. Аналіз даних:

- впровадження штучного інтелекту для аналізу: використання AI/ML для прогнозування та виявлення закономірностей;

- додавання нових форматів аналітичних звітів: інтеграція інфографіки та інтерактивних елементів.

3. Генерація звітів: додавання можливостей побудови діаграм та інструментів візуалізації: інтерактивні дашборди.

4. Взаємодія з користувачами: додавання нових функцій на основі зворотного зв'язку: реалізація функцій, запропонованих користувачами.

5. Управління даними:

- постійне вдосконалення системи: регулярні оновлення та підтримка;

- впровадження нових стандартів безпеки: відповідність сучасним вимогам GDPR/ISO.

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРУ

4.1 Інтеграція модуля оцінки стійкості бортів кар'єрів з системою GeoDATA Zones

Оцінка стійкості бортів кар'єрів є важливою складовою забезпечення безпеки гірничих робіт та оптимізації процесів видобутку корисних копалин. Цей процес потребує врахування численних геологічних, геофізичних та технологічних факторів, які можуть впливати на стійкість гірничих масивів. У сучасних умовах неможливо обмежитися лише традиційними методами аналізу; натомість доцільно застосовувати алгоритмічні підходи, які дозволяють автоматизувати процеси оцінки, проводити складні розрахунки та прогнозувати ризики з урахуванням багатфакторного впливу [36, 37, 38].

Застосування алгоритмічних підходів до оцінки стійкості включає моделювання можливих сценаріїв, аналіз просторових даних та розрахунок коефіцієнтів запасу стійкості (FoS). Ці підходи базуються на сучасних математичних методах, фрактальному аналізі, машинному навчанні та обробці великих обсягів даних [39, 40, 41]. У цьому підрозділі розглядаються основні алгоритми, що використовуються для оцінки стійкості, а також описуються їхні переваги, обмеження та перспективи впровадження в системі GeoDATA Zones.

Delphi є потужним середовищем розробки для створення настільних додатків, яке поєднує зручний візуальний інтерфейс, продуктивну мову програмування Object Pascal та велику кількість інструментів для побудови алгоритмів обчислень [42, 43]. Модуль розрахунку коефіцієнта запасу стійкості (FoS) в рамках програми

GeoDATA Zones було розроблено саме в Delphi через його здатність інтегрувати складні математичні обчислення з візуалізацією результатів у реальному часі.

Delphi надає можливість швидко створювати зручний графічний інтерфейс користувача (GUI) за допомогою технології "drag-and-drop".

Вікна програми, як-от введення параметрів уступу, ітерацій, типу лінії ковзання та відображення результатів, були розроблені з використанням компонентів TPanel, TEdit, TComboBox, TImage, TMemo тощо.

Обчислювальна потужність: Delphi дозволяє інтегрувати складні математичні обчислення, включаючи розв'язання рівнянь, обробку матриць та геометричні обчислення, що є основою для розрахунків FoS.

Для реалізації алгоритмів, таких як метод Лафанта чи моделі граничної рівноваги, використовуються вбудовані функції математичних операцій.

Візуалізація результатів: Delphi надає компонент TImage, який дозволяє виводити графіки ліній ковзання та інших параметрів.

У модулі реалізовано побудову графіків (коло, парабола) залежно від обраного типу розрахунку.

Гнучкість у роботі з даними: програма працює із введеними користувачем параметрами, які зчитуються через текстові поля та списки. Дані також можуть зберігатися в зовнішніх файлах (.txt, .csv) для подальшої обробки.

Для збереження результатів використовується SaveDialog, що забезпечує простоту експорту розрахунків.

Модуль розрахунку коефіцієнта запасу стійкості (FoS), створений у середовищі Delphi, виконує ключову функцію забезпечення безпеки при експлуатації кар'єрів. Однак його потенціал значно зростає, якщо інтегрувати цей інструмент у систему GeoDATA Zones, яка охоплює всі аспекти моніторингу, аналізу та управління даними гірничих робіт. Така

інтеграція дозволить значно підвищити ефективність використання модуля, забезпечити його взаємодію з іншими компонентами системи і створити єдину платформу для комплексного аналізу.

Перш за все, інтеграція модуля у систему GeoDATA Zones дозволить автоматизувати передачу даних між різними етапами аналізу. Наприклад, дані геофізичних вимірювань, тріщинуватості порід, водонасиченості зон та інших параметрів можуть автоматично передаватися з бази даних GeoDATA Zones у модуль розрахунку. Це усуває необхідність ручного введення даних, знижує ризик помилок і значно прискорює процес розрахунків. У свою чергу, результати модуля FoS, включаючи критичні зони з низькими коефіцієнтами стійкості, можуть автоматично передаватися для подальшої візуалізації або формування звітів.

Крім цього, інтеграція модуля в єдину систему забезпечить глибший рівень аналітики завдяки поєднанню даних із різних джерел. Модуль FoS зможе працювати не лише з локальними даними, але й із великомасштабними моделями, включаючи просторові дані, зібрані за допомогою дронів, георадарів або супутників. Це дозволить виконувати розрахунки стійкості для всього кар'єру в інтерактивному режимі, формувати карти ризиків і прогнозувати поведінку масивів за різних умов експлуатації.

Також інтеграція модуля FoS у систему GeoDATA Zones відкриє можливості для використання сучасних технологій, таких як машинне навчання та штучний інтелект. Наприклад, аналіз результатів розрахунків FoS у поєднанні з історичними даними про обвали дозволить створити моделі прогнозування ризиків. Це зробить систему GeoDATA Zones не лише інструментом аналізу, але й засобом для підтримки прийняття рішень на основі сценарного моделювання.

Таким чином, інтеграція модуля розрахунку стійкості в глобальну систему GeoDATA Zones є наступним стратегічним кроком для

підвищення ефективності роботи, автоматизації процесів та отримання більш точних і корисних результатів. Це дозволить створити єдину інформаційну платформу, здатну вирішувати складні геотехнічні завдання і забезпечувати комплексний моніторинг безпеки в гірничих підприємствах.

Для інтеграції Delphi з базами даних SQL можна використати компонент FireDAC (потужна бібліотека для роботи з базами даних), який підтримує більшість популярних СУБД, включаючи MySQL, PostgreSQL, SQLite, Microsoft SQL Server та інші.

Основні кроки майбутньої інтеграції:

1. Налаштування підключення до бази даних: використовується компонент TFDConnection для встановлення з'єднання.

Налаштовуються параметри доступу до бази: хост, порт, назва бази, логін і пароль (рис.4.1).

```
FDConnection1.Params.DriverID := 'MySQL';  
FDConnection1.Params.Database := 'GeoDATA';  
FDConnection1.Params.UserName := 'root';  
FDConnection1.Params.Password := 'password';  
FDConnection1.Params.Add('Server=localhost');  
FDConnection1.Connected := True;
```

Рисунок 4.1 – Налаштовуються параметри доступу

Для роботи з даними через SQL-запити запропоновано використати компонент TFDQuery.

Запит для отримання даних представлено на рис.4.2

```

FDQuery1.SQL.Text := 'SELECT * FROM StabilityFactors WHERE
ZoneID = :ZoneID';
FDQuery1.Params.ParamByName('ZoneID').AsInteger := 1;
FDQuery1.Open;
while not FDQuery1.Eof do
begin
MemoResults.Lines.Add(Format('Zone: %s, FoS: %.2f',
[FDQuery1.FieldByName('ZoneName').AsString,
FDQuery1.FieldByName('FoS').AsFloat]));
FDQuery1.Next;
end;

```

Рисунок 4.2 – Запит для отримання даних

2. Запит для запису результатів розрахунків (рис.4.3).

```

FDQuery1.SQL.Text := 'INSERT INTO StabilityFactors (ZoneID,
Height, FoS) VALUES (:ZoneID, :Height, :FoS)';
FDQuery1.Params.ParamByName('ZoneID').AsInteger := 1;
FDQuery1.Params.ParamByName('Height').AsFloat := 25.0;
FDQuery1.Params.ParamByName('FoS').AsFloat := 1.45;
FDQuery1.ExecSQL;

```

Рисунок 4.3 – Запит для запису результатів розрахунків

3. Зв'язок з візуальними компонентами: для відображення даних у таблицях використовується компонент TDBGrid, далі налаштовується зв'язок із джерелом даних через TDataSource.

Використання алгоритмічних і програмних підходів у рамках розробки модуля оцінки стійкості бортів кар'єрів дозволяє підвищити точність і оперативність розрахунків, а також забезпечити інтерактивний доступ до результатів аналізу. Розробка цього модуля на платформі Delphi демонструє гнучкість і функціональність, адже він здатний

інтегрувати складні математичні методи з інтуїтивно зрозумілим графічним інтерфейсом. Важливо також зазначити, що використання SQL для роботи з базами даних забезпечує надійне зберігання та обробку великого обсягу інформації, що є ключовим у багатофакторному аналізі.

Подальший розвиток модуля в напрямку інтеграції його в глобальну систему GeoDATA Zones дозволить створити єдину інформаційну екосистему для управління гірничими роботами. Такий підхід сприятиме не лише підвищенню безпеки на підприємствах, але й ефективному плануванню робіт завдяки прогнозуванню ризиків та сценарному моделюванню. У перспективі це забезпечить ще більшу адаптивність системи до умов експлуатації, а також розширить її функціонал за рахунок новітніх технологій, таких як машинне навчання та аналіз великих даних.

4.2 Опис інтерфейсу модуля розрахунку стійкості бортів кар'єру

Основне призначення інтерфейсу системи – забезпечення зручного введення вихідних даних, запуску розрахунків та перегляду результатів моделювання стійкості бортів кар'єру. Спрощений дизайн дозволяє користувачам легко виконувати основні операції без необхідності глибоких технічних знань.

Розглянемо основні елементи інтерфейсу.

Панель меню (рис.4.4). У верхній частині присутня стандартна панель меню, яка включає основні вкладки, такі як:

- "Кар'єр" (налаштування первинних параметрів обчислень);
- "Відвал" (запуск обчислень);

- "Допомога" (там є невеликий опис про налаштування параметрів розрахунків);
- "Вихід" – закриття програми.



Рисунок 4.4 – Головна сторінка інтерфейсу користувача

Модель «Кар'єр» від моделі «Відвал» відрізняється тим, що у моделі «Відвал» можна задавати шари, які формують основу відвалу (рис.4.5).

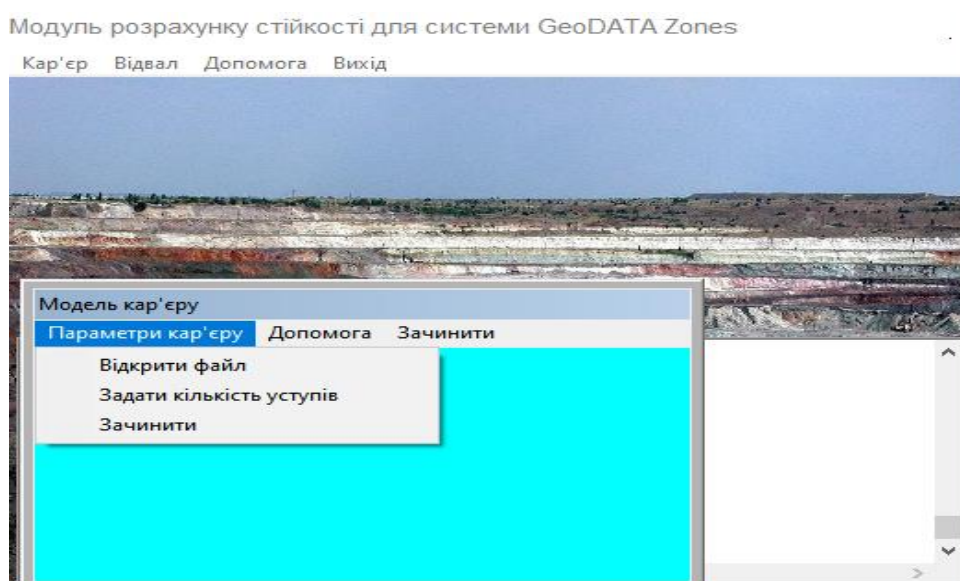


Рисунок 4.5 – Сторінка підвантаження параметрів кар'єру або задання кількості уступів для подальшого налаштування

Далі можемо відкрити файл з налаштованими розрахунковими параметрами для перерізу кар'єру, або задати кількість уступів вручну, а потім самостійно налаштувати параметри (рис.4.6).

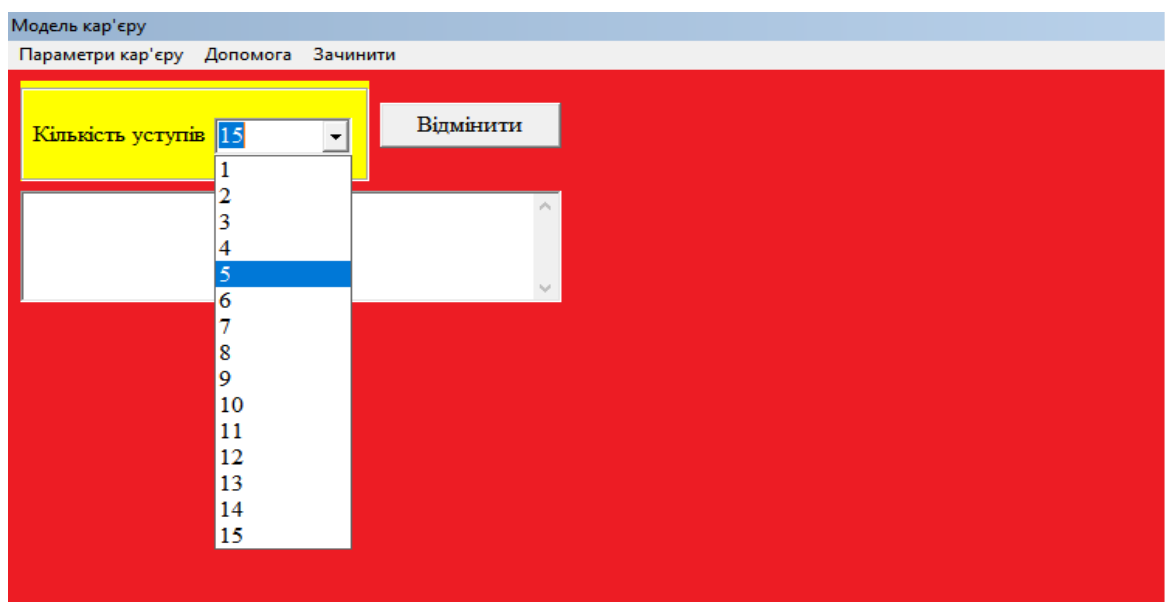


Рисунок 4.6 – Вибір кількості уступів

Тут задається кількість уступів, які будуть братися до розрахунку.

Далі відкривається частина програми, яка відповідає за введення геометричних параметрів уступу та фізико-механічних властивостей порід для розрахунку стійкості бортів кар'єру. Вона дозволяє користувачеві налаштувати основні параметри розрахунків для кожного окремого уступу.

Розглянемо основні елементи інтерфейсу.

1. Вибір уступу. У випадяючому меню користувач може вибрати номер уступу, для якого будуть задані параметри. Це дозволяє працювати з кількома уступами в межах одного розрахунку.

2. Геометричні параметри уступу:

- Висота: поле для введення висоти уступу у метрах;
- Кут укосу: поле для введення кута нахилу уступу у градусах;

– Берма: поле для введення ширини берми у метрах.

Ці параметри є базовими для визначення геометрії уступу.

3. Фізико-механічні властивості порід:

– Назва породи: випадаюче меню, яке дозволяє обрати тип породи (наприклад, скельні, пісок, глина, суглинок);

– Густина: поля для введення мінімальної та максимальної густини породи (в кг/м^3);

– Кут внутрішнього тертя: поля для введення мінімального та максимального значення кута внутрішнього тертя породи (в градусах);

– Зчеплення: поля для введення мінімального та максимального зчеплення породи (в Па);

– Об'єм вибірки задає кількість даних, які будуть використані в моделюванні;

4. Кнопка для налаштування параметра розподілу дозволяє визначити, чи розподіляються фізико-механічні властивості за нормальним законом.

5. Графіки: у правій частині відображаються графіки розподілу властивостей порід: густини, кута внутрішнього тертя, зчеплення. Ці графіки допомагають візуалізувати параметри, що вводяться, і дають змогу оцінити їх варіативність.

6. Кнопка "Очистити область виводу": очищає область у правому нижньому кутку, яка відображає зміни у налаштуванні параметрів.

Цей модуль дозволяє детально налаштувати параметри для кожного уступу, забезпечуючи гнучкість і точність розрахунків стійкості (рис.4.7).

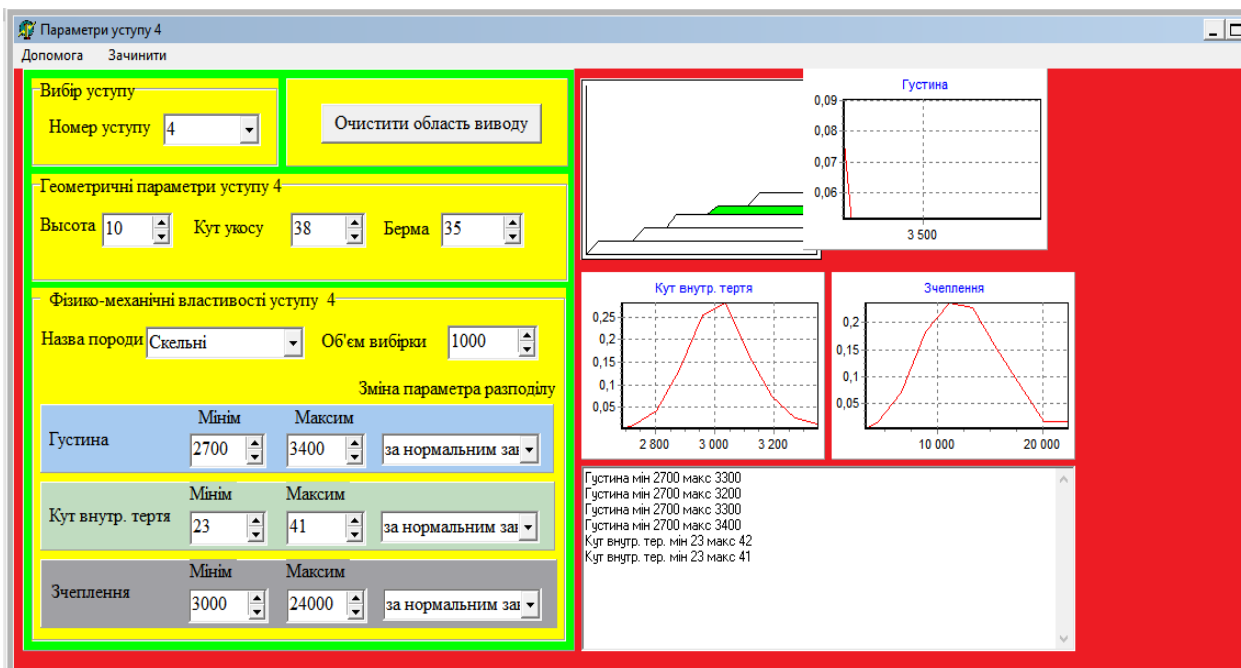


Рисунок 4.7 – Форма завдання параметрів уступів

Після налаштування геометричних та фізико-геологічних параметрів, переходимо до налаштування параметрів імітації.

Це вікно дозволяє гнучко налаштовувати параметри імітаційного моделювання залежно від умов розрахунків (рис.4.8).

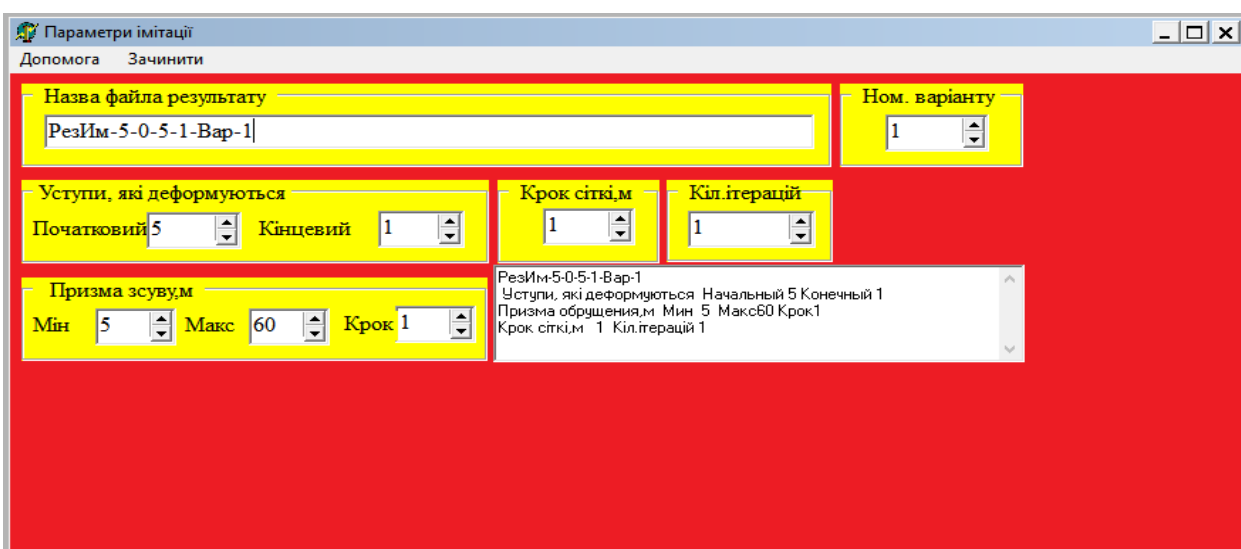


Рисунок 4.8 – Налаштування параметрів імітації

Користувач може точно визначити геометрію кар'єру, крок обчислень і область аналізу. Така структура інтерфейсу забезпечує інтуїтивне введення даних та їх перевірку перед запуском розрахунків.

Опис налаштувань параметрів імітації:

1. Назва файлу результату. Поле для введення імені файлу, у який будуть збережені результати моделювання. Наприклад, "РезИм-5-0.5-1-Var-1". Це допомагає організувати дані результатів для подальшого аналізу.

2. Номер варіанту - вибір номера варіанту моделювання. Дозволяє користувачу виконувати різні сценарії розрахунків з різними параметрами та відслідковувати їх.

3. Уступи, які деформуються. Початковий та Кінцевий уступи: визначають діапазон уступів, для яких буде виконуватись моделювання. Наприклад, від 5 до 1. Це дозволяє задавати конкретний інтервал уступів для розрахунків.

4. Крок сітки, м. Визначає відстань між точками розрахунків на лінії ковзання. Наприклад, крок сітки "1 м" означає, що розрахунки будуть виконуватись через кожен метр.

5. Кількість ітерацій. Поле для вибору кількості ітерацій, які програма виконуватиме для точності розрахунків.

6. Призма зсуву, м. Мінімальна та максимальна призма зсуву задають розмір області, що може бути деформована. Наприклад, мінімум — 5 м, максимум — 60 м. Крок визначає, із яким приростом буде змінюватися значення під час моделювання.

7. Результат. Відображення введених параметрів у вигляді текстового звіту внизу вікна (рис. 4.9). Це допомагає користувачу перевірити правильність введених даних перед початком моделювання.

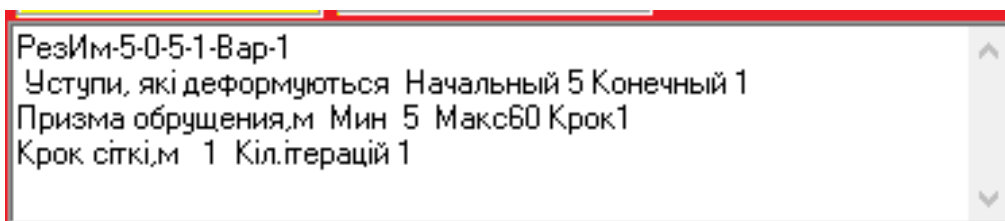


Рисунок 4.9 – відображення текстового звіту внизу вікна

4.3 Перевірка працездатності модуля оцінки стійкості бортів кар'єрів на контрольному прикладі

4.3.1 Підготовка та аналіз вхідних даних для розрахунків стійкості бортів кар'єрів

Для виконання розрахунків коефіцієнта запасу стійкості (FoS) бортів кар'єру використовується широкий набір вихідних даних, які описують геометричні параметри уступів, фізико-механічні властивості порід, а також обмежуючі умови і параметри ітерацій. Ці дані дозволяють врахувати багатофакторний вплив на стійкість кар'єрних масивів і забезпечити точність моделювання.

Розглянемо основні вихідні дані.

Загальні обмежуючі параметри:

- мінімальна/максимальна висота уступу: 0–1000 м із кроком 1 м.;
- мінімальна/максимальна ширина берми: 0–500 м із кроком 1 м.;
- кут укосу: 5°–85° із кроком 1°.

Параметри основи:

- щільність: 1000–3500 кг/м³ із кроком 100 кг/м³;
- зчеплення: 1–1000000 Па із кроком 1000 Па;
- кут внутрішнього тертя: до 45°;
- максимальна кількість шарів: 20;

– призма зсуву: мінімальна — 1, максимальна — 100, крок — 1.

Фізико-механічні властивості: визначаються за нормальним розподілом, що дозволяє моделювати ймовірнісні варіації властивостей порід.

Адаптивність параметрів: завдяки можливості налаштування початкових параметрів імітації, розрахунки можна адаптувати для різних умов і геометрії кар'єрів. Це дозволяє створювати моделі, що максимально точно відображають реальний стан гірничих масивів.

Моделювання сценаріїв: використання фізико-механічних властивостей порід, які задаються нормальним розподілом, дозволяє врахувати варіативність цих параметрів, що є важливим для аналізу стійкості в умовах невизначеності.

Обмеження розрахунків: встановлені граничні параметри забезпечують запобігання отриманню некоректних або фізично неможливих результатів, що підвищує достовірність розрахунків.

На основі цих вихідних даних розрахунок FoS здійснюється шляхом багаторазового ітеративного аналізу. Кожна ітерація враховує геометричні параметри уступів, фізико-механічні властивості порід та їх варіативність. Кінцевим результатом є розрахунок коефіцієнта запасу стійкості для кожного ярусу та визначення зон із найбільшим ризиком обвалів.

Ініціалізація параметрів: зчитуються початкові параметри імітації: кількість ітерацій, крок сітки, початковий та кінцевий яруси.

Встановлюються обмежуючі параметри: мінімальні та максимальні значення для висоти уступів, ширини берми, кута укосу, зчеплення, щільності та кута внутрішнього тертя.

Підготовка даних для кожного уступу: для кожного ярусу визначаються фізико-механічні властивості (густина, кут тертя, зчеплення) та геометричні параметри (висота, ширина берми, кут укосу).

Властивості породи розподіляються за нормальним законом у межах заданих мінімальних та максимальних значень.

Побудова сітки параметрів: генерується набір значень для кожного параметра (наприклад, висоти уступу) в межах заданих обмежень із заданим кроком.

Кожна комбінація параметрів використовується для розрахунку коефіцієнта запасу стійкості.

Розрахунок коефіцієнта запасу стійкості (FoS): для кожної комбінації параметрів використовується наступна формула:

$$FoS = \frac{C \cdot L + W \cdot \cos(\theta) \cdot \tan\phi}{W \cdot \sin(\theta)} \quad (4.1)$$

де C – зчеплення породи (Па);

W – вага призми обвалу, розраховується як $W = \rho \cdot V$, де ρ – густина;

V – об'єм призми;

ϕ – кут внутрішнього тертя (градуси);

θ – кут укосу (градуси).

Візуалізація результатів: побудова графіків залежності FoS від геометричних параметрів (висоти, кута укосу тощо).

Виведення зон з критичними значеннями FoS для кожного уступу.

Для збереження параметрів розрахунків, вони записуються у файл (.imm) (Intermediate Modeling Metadata) або базу даних для подальшого аналізу. Структура файлу наведена на рис. 4.10.

```

Параметри кар'єру-образец-2.imm – Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
Параметри відвалу
5
Параметри ярусів відвалу
Ярус 1
15 40 45 1
2800 3400 100 5
23 45 1 5
3000 38000 1000 5
Ярус 2
15 26 45 1
2700 3400 100 5
23 45 1 5
3000 38000 1000 5
Ярус 3
15 37 50 1
2700 3400 100 5
23 45 1 5
3000 38000 1000 5
Ярус 4
15 35 60 1
2700 3400 100 5
23 45 1 5
3000 38000 1000 5
Ярус 5
15 60 45 1
2700 3400 100 5
23 45 1 5
3000 38000 1000 5
Параметри слабкого шару
0
Параметри сплайну
0
|

```

Рисунок 4.10 – Структура файлу

Рядок 1 (геометрія): висота уступу (м); мінімальний кут укосу (градуси), максимальний кут укосу (градуси), крок кута укосу (градуси).

Рядок 2 (щільність породи): мінімальна густина породи ($\text{кг}/\text{м}^3$), максимальна густина породи ($\text{кг}/\text{м}^3$), крок щільності ($\text{кг}/\text{м}^3$), об'єм вибірки (умовні одиниці).

Рядок 3 (кут внутрішнього тертя): мінімальний кут внутрішнього тертя (градуси), максимальний кут внутрішнього тертя (градуси), крок кута (градуси).

Рядок 4 (зчеплення): мінімальне зчеплення (Па), максимальне зчеплення (Па), крок зчеплення (Па).

Ці блоки повторюються для кожного ярусу (Ярус 1, Ярус 2 і т.д.).

Точки для розрахунку та обчислення співвідношення сил на лінії ковзання.

Точки на лінії ковзання. Лінія ковзання визначає межу, уздовж якої може відбутися зсув масиву породи в кар'єрі. Ця лінія формується на основі геометричних параметрів уступу та властивостей породи (щільність, кут внутрішнього тертя, зчеплення). Для точного розрахунку

коефіцієнта запасу стійкості (FoS) вздовж лінії ковзання проводиться аналіз окремих точок із заданим інтервалом.

1. Інтервал розрахунку:

- точки для розрахунків беруться через певний інтервал уздовж горизонтальної осі xxx (зазвичай, кожен метр);
- інтервал визначається кроком сітки, який заданий у параметрах моделювання.

2. Розташування точок: кожна точка на лінії ковзання визначається координатами (x,y) де x – горизонтальна координата (метри); y – вертикальна координата, розрахована на основі геометрії лінії ковзання (наприклад, коло, парабола або сплайн).

4.3.2 Контрольний приклад для оцінки стійкості бортів кар'єрів

Розглянемо приклад розрахунку співвідношення сил утримуючих до сил зрушуючих. На рис. 4.11 наведено скрипт.

Для точки на лінії ковзання з координатами $x=10\text{ м}$, $y=5\text{ м}$, за таких параметрів:

- $C=30000\text{ Па}$;
- $L=1\text{ м}$;
- $W=5000$;
- $\theta=30^\circ$;
- $\phi=35^\circ$.

```

unit MainForm;
interface
uses
  System.SysUtils, System.Classes, Vcl.Controls, Vcl.Forms,
  Vcl.StdCtrls,
  Vcl.ExtCtrls, Vcl.Graphics, Vcl.Dialogs, Math;
type
  TfrmMain = class(TForm)
    PanelInputs: TPanel;
    lblHeight: TLabel;
    lblAngle: TLabel;
    lblBerm: TLabel;
    lblIterations: TLabel;
    edtHeight: TEdit;
    edtAngle: TEdit;
    edtBerm: TEdit;
    edtIterations: TEdit;
    PanelResults: TPanel;
    MemoResults: TMemo;
    btnCalculate: TButton;
    ChartImage: TImage;
    SaveDialog: TSaveDialog;
    btnSave: TButton;
    ComboLineType: TComboBox;
    lblLineType: TLabel;
    procedure btnCalculateClick(Sender: TObject);
    procedure btnSaveClick(Sender: TObject);
  private
    procedure DrawSlidingLine(LineType: string; Iterations: Integer);
    procedure SaveResultsToFile;
  end;

```

Рисунок 4.11 – Програма для розрахунків

1. Сила тертя:

$$F_{\text{resist}} = 3000 \cdot 1 + 5000 \cdot \cos \theta (30^\circ) \cdot \tan \phi = (35) = 6031.$$

2. Рушійна сила: $F_{\text{drive}} = 5000 \cdot \sin \theta (30^\circ) = 5000 \cdot 0.5 = 2500$.

Співвідношення сил зрушуючих до сил утримуючих у даній точці:

$$F_oS = 6031 / 2500 = 2.41.$$

У цьому випадку точка стійка, оскільки $F_oS > 1.3$.

Для перевірки модуля системи узяті реальні дані порід одного з кар'єрів Кривбасу (таблиця 4.1.) та виконано розрахунок. Результат наведено у таблиці 4.2 та рис.4.12 та рис.4.13.

Таблиця 4.1 – Дані властивостей порід та параметрів ярусів відвалу

Ярус	Висота	Кут	Берма	Мін. щільн., кг/м ³	Макс. щільн., кг/м ³					Породи	Індекс	Позначення
						Мін.	Макс.	Мін.	Макс.			
Отвал												
1	5	30	28	2100	2100	28	28	15400	15400	Змішані породи відвалу		-
2	10	37	100	2100	2100	28	28	15400	15400			-
3	20	36	52	2100	2100	28	28	15400	15400			-
4	20	36	50	2100	2100	28	28	15400	15400			-
5	20	36	50	2100	2100	28	28	15400	15400			-
6	20	35	56	2100	2100	28	28	15400	15400			-
Породи основи відвалу												
1	-	-	-	1830	1830	19	19	11000	11000	Суглинки	Q3	
2	-	-	-	1710	1710	20	20	8000	8000	Суглинки	Q2	
3	-	-	-	1850	1850	18	19	22000	22000	Суглинки	Q2	
4	-	-	-	1740	1740	18	19	9000	9000	Суглинки	Q2	
5	-	-	-	1930	1930	18	18	28000	28000	Суглинки	Q1	
6	-	-	-	1900	1900	17	17	20000	20000	Суглинки	N2-Q1	
7	-	-	-	1890	1890	19	19	11000	11000	Суглинки	N2-Q1	
8	-	-	-	1800	1800	24	24	4000	4000	Песок	N2-Q1	
9	-	-	-	2100	2100	18	19	35000	35000	Глина	N2-Q1	
10	-	-	-	1920	1920	24	24	4000	4000	Песок	N2k	

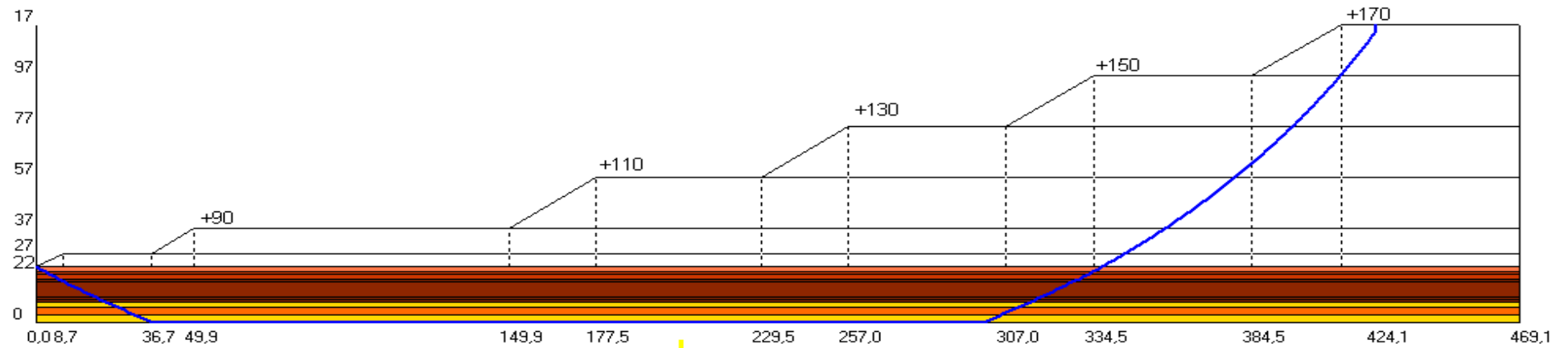


Рисунок 4.12 – Результат розрахунку по профільній лінії

Таблиця 4.2 – Дані розрахунків

Призма=1	MinKu = 2,19	MaxKu = 2,19	Сер.Ку = 2,19	
Призма=6	MinKu = 2,18	MaxKu = 2,18	Сер.Ку = 2,18	
Призма=11	MinKu = 2,18	MaxKu = 2,18	Сер.Ку = 2,18	
Призма=16	MinKu = 2,18	MaxKu = 2,19	Сер.Ку = 2,18	
Призма=21	MinKu = 2,19	MaxKu = 2,19	Сер.Ку = 2,19	
Призма=26	MinKu = 2,20	MaxKu = 2,20	Сер.Ку = 2,20	
Призма=31	MinKu = 2,21	MaxKu = 2,22	Сер.Ку = 2,22	
Призма=36	MinKu = 2,24	MaxKu = 2,24	Сер.Ку = 2,24	
Мінімальне значення				
Призма = 11	Випор = 0	Ku = 2,18		

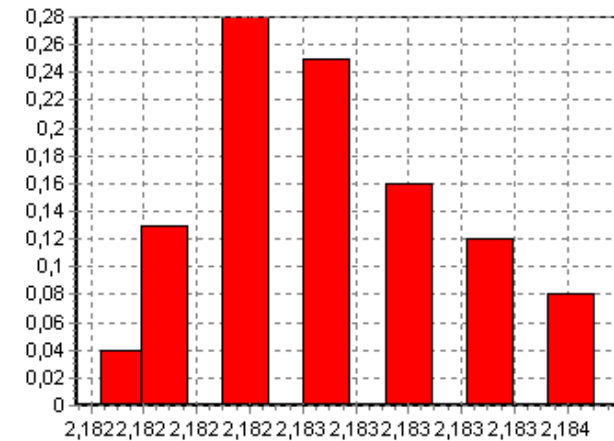


Рисунок 4.13 – Графік розподілення коефіцієнту запасу стійкості

Отже, модуль розрахунку стійкості для системи GeoDATA Zones є важливим елементом, що забезпечує виконання точних і багатофакторних оцінок стійкості бортів кар'єру. Його розробка та інтеграція стали можливими завдяки використанню сучасних алгоритмічних підходів, програмного середовища Delphi та широкого спектру вихідних даних, що включають геометричні параметри, фізико-механічні властивості порід та обмежуючі умови.

Даний модуль дозволяє автоматизувати розрахунки коефіцієнта запасу стійкості (FoS) за допомогою ітеративного аналізу, забезпечує гнучкість налаштувань для моделювання різних сценаріїв і враховує варіативність властивостей порід через нормальний розподіл. Результати моделювання представлені у вигляді графіків, таблиць та файлів, що полегшує інтерпретацію даних і сприяє прийняттю обґрунтованих рішень у процесі гірничих робіт.

Подальша інтеграція модуля в загальну систему GeoDATA Zones відкриває перспективи для більш комплексного аналізу та підвищення ефективності використання даних. Це дозволить створити єдину платформу, яка об'єднує геологічні, геофізичні та технічні аспекти моніторингу стійкості, забезпечуючи тим самим високий рівень безпеки та оптимізації гірничих процесів.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТІЙКІСТЮ БОРТІВ КАР'ЄРІВ

5.1 Обґрунтування доцільності розробки системи GeoDATA Zones

У сучасних умовах розвитку гірничодобувної промисловості автоматизація процесів збору, обробки та аналізу даних відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки робіт та підвищенні продуктивності підприємств. Впровадження інформаційних систем, таких як GeoDATA Zones, дозволяє значно скоротити витрати часу та ресурсів на контроль за стійкістю бортів кар'єру, що є критично важливим для запобігання аваріям та зменшення фінансових ризиків. Проте, як і будь-яка технічна ініціатива, реалізація такого програмного комплексу потребує попереднього економічного аналізу, який враховує не лише витрати на впровадження, а й очікувані економічні вигоди. Саме тому у даному розділі розглянуто економічну складову розробки системи GeoDATA Zones, її потенційний економічний ефект, а також обґрунтовано доцільність інвестицій у таке програмне рішення.

Важливо зазначити, що впровадження системи GeoDATA Zones є інвестиційним проєктом, який має на меті оптимізацію гірничих робіт та підвищення ефективності управління кар'єрами. Для оцінки доцільності такого рішення необхідно розглянути основні фінансові показники, включаючи витрати на обладнання, розробку програмного забезпечення, навчання персоналу та подальші експлуатаційні витрати. При цьому слід враховувати, що система не лише зменшує витрати на контроль за стійкістю схилів, а й значно покращує якість прийняття

рішень, що у довгостроковій перспективі веде до суттєвої економії ресурсів та зниження ризиків аварійних ситуацій.

Окрім безпосередніх фінансових показників, необхідно оцінити і неявний економічний ефект, який проявляється у вигляді зменшення ймовірності виникнення зсувів, покращення умов праці та підвищення ефективності використання виробничих потужностей. Наприклад, навіть один запобігнутий обвал може заощадити підприємству значні кошти, оскільки аварійні ситуації в кар'єрах призводять не лише до прямих фінансових втрат, а й до зупинки роботи, необхідності проведення дорогих відновлювальних заходів та можливих штрафних санкцій. Таким чином, аналіз ефективності впровадження системи GeoDATA Zones повинен враховувати не лише початкові капіталовкладення, але й потенційні фінансові вигоди, які забезпечують скорочення виробничих ризиків.

Ще одним важливим аспектом економічного обґрунтування є порівняння витрат на впровадження системи з традиційними методами контролю за стійкістю бортів кар'єру. У більшості випадків підприємства використовують або ручні методи оцінки стану схилів, або застосовують фрагментовані цифрові рішення, що не забезпечують комплексного підходу до моніторингу та аналізу. Впровадження GeoDATA Zones дозволяє зменшити трудовитрати, автоматизувати процеси збору та обробки даних, а також знизити вплив людського фактора на точність оцінки. Це дає змогу уникати непотрібних фінансових витрат на проведення додаткових досліджень та приймати більш обґрунтовані рішення щодо безпеки ведення гірничих робіт.

Таким чином, проведений аналіз дає змогу оцінити фінансові витрати, необхідні для впровадження системи GeoDATA Zones, а також визначити її економічну ефективність у коротко- та довгостроковій перспективі. Оцінка економічної складової, розрахунок можливого економічного ефекту та аналіз рентабельності інвестицій дозволять

визначити доцільність впровадження даного програмного рішення у реальних виробничих умовах. У цьому розділі буде детально розглянуто основні аспекти впровадження, витрати, які необхідно понести для реалізації проєкту, а також потенційні вигоди, що можуть бути отримані у процесі експлуатації системи.

5.2 Економічна складова проєкту

Впровадження інформаційної системи GeoDATA Zones потребує комплексного аналізу економічної ефективності, оскільки цей проєкт передбачає як початкові капіталовкладення, так і подальші експлуатаційні витрати. Основна економічна вигода від впровадження даної системи полягає у зменшенні фінансових витрат на ручний моніторинг, автоматизації обробки даних та запобіганні аварійним ситуаціям. Автоматизація процесів дозволяє значно скоротити витрати на рутинні операції та зменшити ризик помилок, пов'язаних із людським фактором, що безпосередньо впливає на фінансові показники підприємства.

Основні статті витрат на впровадження GeoDATA Zones включають розробку програмного забезпечення, придбання необхідного обладнання для робочих місць користувачів, інтеграцію системи у виробничий процес та її подальше технічне обслуговування. Загальна вартість реалізації проєкту становить приблизно 575 000 грн, що включає закупівлю обладнання (125 000 грн), розробку програмного забезпечення (400 000 грн) та експлуатаційні витрати на перший рік (50 000 грн). Ця сума є цілком обґрунтованою з урахуванням потенційної економії та підвищення ефективності операційних процесів підприємства.

Розглядаючи питання доцільності інвестицій у впровадження GeoDATA Zones, необхідно порівняти ці витрати із поточними витратами підприємства на проведення контролю за стійкістю бортів кар'єру. Використання традиційних методів передбачає залучення великої кількості фахівців, ручне вимірювання параметрів схилів та подальшу обробку даних, що займає значний час та потребує додаткових ресурсів. Витрати на персонал, проведення геодезичних досліджень та аналіз зібраних даних можуть перевищувати 300 000 – 500 000 грн на рік, залежно від масштабів кар'єру та рівня необхідного моніторингу. Таким чином, впровадження автоматизованої системи може окупитися вже протягом 1-2 років за рахунок скорочення операційних витрат.

Додатковим аргументом на користь економічної доцільності цього проекту є можливість уникнення надзвичайних ситуацій та втрат, пов'язаних із зсувами ґрунту чи руйнуванням бортів кар'єру. Навіть один аварійний обвал може призвести до втрат, що перевищують 1 млн грн, включаючи витрати на усунення наслідків, простої техніки та можливі штрафні санкції. Завдяки впровадженню GeoDATA Zones підприємство отримує ефективний інструмент для моніторингу стану бортів кар'єру та прогнозування небезпечних ситуацій, що дозволяє значно знизити ймовірність аварійних випадків і уникнути фінансових втрат.

Таким чином, економічна складова проекту GeoDATA Zones включає як безпосередню економію коштів, так і запобігання потенційним збиткам. Порівняння витрат на впровадження системи з поточними операційними витратами та можливими втратами від аварійних ситуацій показує, що цей проект є економічно доцільним та має високий рівень рентабельності. У довгостроковій перспективі GeoDATA Zones дозволить підприємству підвищити ефективність управління кар'єрними роботами, мінімізувати ризики та оптимізувати виробничі процеси.

Оскільки система GeoDATA Zones буде використовувати загальний сервер, витрати на додаткове серверне обладнання виключені. В оновленому розрахунку враховано лише необхідні компоненти для роботи системи.

1. Витрати на закупівлю обладнання. Для коректної роботи програми необхідно забезпечити робочі місця для користувачів та мережеву інфраструктуру:

– робочі станції для користувачів системи (3 шт.): 25 000 грн/шт × 3 = 75 000 грн.;

– мережеве обладнання (маршрутизатори, комутатори): 50 000 грн.

Загальні витрати на обладнання: 125 000 грн.

2. Витрати на розробку програмного забезпечення. Витрати на створення, налаштування та інтеграцію програмного забезпечення включають:

– розробка програмного забезпечення та функціональних модулів: 250 000 грн.;

– інтеграція баз даних та адаптація до інфраструктури підприємства: 80 000 грн.;

– тестування, налаштування та відладка системи: 70 000 грн.

Загальні витрати на розробку ПЗ: 400 000 грн.

3. Експлуатаційні витрати. Витрати на підтримку та технічне обслуговування програмного комплексу включають:

– оренда серверних ресурсів на загальному сервері (річна вартість): 20 000 грн.;

– технічне обслуговування обладнання та програмного забезпечення: 30 000 грн.

Загальні експлуатаційні витрати: 50 000 грн.

4. Загальна вартість впровадження. Усі загальні витрати проекту складатимуть 575 тис. грн.

Таким чином, впровадження GeoDATA Zones є не лише технологічним, але й економічно обґрунтованим рішенням, яке дозволяє підприємству суттєво скоротити витрати на моніторинг стійкості бортів кар'єру та оптимізувати процес прийняття управлінських рішень. Аналіз показує, що початкові інвестиції у систему є порівняно невеликими у порівнянні з витратами на традиційні методи контролю та потенційними збитками у разі аварійних ситуацій. Завдяки автоматизації та інтеграції сучасних аналітичних методів система дозволить підвищити точність прогнозів, уникнути людських помилок та забезпечити моніторинг стану гірничих.

З фінансової точки зору, інвестиції у GeoDATA Zones можуть окупитися вже протягом 1-2 років, що робить цей проект не лише ефективним, а й вигідним для підприємства. Окрім безпосередньої економії, система сприяє зниженню ризиків техногенних катастроф, які можуть спричинити значні фінансові втрати. Таким чином, використання сучасних цифрових технологій у гірничодобувній галузі є не лише трендом, а й необхідністю, що дозволяє забезпечити безпечні умови роботи, мінімізувати витрати та підвищити ефективність управління виробничими процесами.

5.3 Неявний економічний ефект від впровадження GeoDATA Zones

У процесі оцінки економічної ефективності впровадження інформаційних систем, таких як GeoDATA Zones, важливо враховувати не лише прямі фінансові витрати та доходи, а й неявні економічні ефекти. Ці ефекти включають покращення безпеки праці, зниження

ризиків аварійних ситуацій, підвищення ефективності використання ресурсів та покращення якості прийняття рішень. Неявний економічний ефект може мати значний вплив на загальну рентабельність проєкту, навіть якщо його складно оцінити у вигляді конкретних фінансових показників у короткостроковій перспективі.

Одним із головних аспектів неявного економічного ефекту є зниження ризику аварійних ситуацій та їх наслідків. Гірничодобувна промисловість є однією з найбільш ризикованих сфер діяльності, де кожна аварія може спричинити не лише фінансові збитки, а й загрозу життю працівників. Впровадження GeoDATA Zones дозволяє здійснювати безперервний моніторинг стану бортів кар'єру, що сприяє ранньому виявленню потенційно небезпечних ділянок та своєчасному вжиттю заходів для їхньої стабілізації. Це не тільки мінімізує втрати підприємства у разі надзвичайних ситуацій, а й допомагає уникнути соціальних та репутаційних ризиків.

Ще одним важливим аспектом є оптимізація процесів управління та прийняття рішень. Завдяки автоматизованій системі аналізу даних керівники підприємства отримують можливість оперативно приймати обґрунтовані рішення на основі актуальної інформації. Це дозволяє уникнути зайвих витрат на додаткові обстеження, скоротити час на аналіз інформації та оптимізувати планування гірничих робіт. Крім того, система дозволяє зменшити навантаження на персонал, що виконує ручний аналіз, звільняючи його ресурси для більш стратегічних завдань.

Неявний економічний ефект також включає підвищення довіри з боку інвесторів, партнерів і регулюючих органів. Використання сучасних інформаційних технологій у сфері гірничодобувної промисловості свідчить про прагнення підприємства до підвищення рівня безпеки та ефективності роботи. Це може позитивно позначитися на репутації компанії, спростити отримання дозволів на проведення робіт та сприяти залученню нових інвестицій. Таким чином, навіть без прямої фінансової

оцінки, впровадження GeoDATA Zones сприяє сталому розвитку підприємства та зміцненню його конкурентних позицій.

1. Збитки від аварійних обвалів та зсувів. Раптові зсуви та обвали бортів кар'єру є серйозною загрозою для безпеки та стабільності виробничого процесу. Такі аварії можуть призвести до значних фінансових втрат через знищення обладнання, необхідність проведення аварійно-відновлювальних робіт, а також простої у видобутку корисних копалин. Витрати на усунення наслідків можуть включати витрати на розчищення завалів, посилення укріплення кар'єрних бортів та відновлення пошкодженої інфраструктури.

У випадку великих обвалів фінансові втрати можуть сягати десятків мільйонів гривень. Це включає як прямі збитки від пошкодження техніки, так і непрямі витрати через затримку видобутку та порушення виробничого графіка. Використання сучасних цифрових систем моніторингу, таких як GeoDATA Zones, дозволяє значно знизити ризик подібних подій за рахунок безперервного спостереження за станом кар'єрних схилів та своєчасного реагування на потенційні загрози.

2. Втрати через простій техніки та порушення виробничого циклу. Простій гірничодобувної техніки може суттєво вплинути на економічні показники підприємства. Будь-яка незапланована зупинка робіт призводить до втрати виробничих потужностей, недоотримання прибутку та додаткових витрат на оперативне усунення проблем.

Вартість простою великої кар'єрної техніки може становити сотні тисяч гривень на добу, особливо якщо зупинка стосується ключових процесів, таких як видобуток, транспортування або дроблення руди. Завдяки впровадженню GeoDATA Zones, можна мінімізувати ці ризики, адже система забезпечує безперервний контроль за станом бортів кар'єру та попереджає про небезпечні зміни в структурі ґрунту. Це

дозволяє своєчасно вживати заходів для запобігання аваріям, а отже, зменшувати фінансові втрати.

3. Екологічні штрафи та соціальні витрати. Гірничодобувні підприємства часто стикаються з екологічними проблемами, які можуть призводити до значних фінансових санкцій. Забруднення навколишнього середовища, руйнування екосистем та зміни у ландшафті можуть спричиняти необхідність сплати штрафів, компенсацій місцевим громадам, а також витрат на екологічну реабілітацію територій.

Штрафи за порушення норм екологічної безпеки можуть становити мільйони гривень, залежно від рівня впливу на довкілля та ступеня порушення нормативних актів. Впровадження GeoDATA Zones допомагає зменшити ризики таких порушень, оскільки система забезпечує можливість прогнозування небезпечних ситуацій і дозволяє оперативно вживати заходів для мінімізації негативного впливу на довкілля.

4. Оптимізація використання ресурсів. Автоматизація процесів оцінки стійкості бортів кар'єру дозволяє суттєво скоротити витрати на ручний моніторинг і зменшити потребу в додаткових обстеженнях території. Це знижує витрати на залучення спеціалістів для проведення геодезичних робіт та аналітичних досліджень, а також зменшує ризик людських помилок у розрахунках.

Впровадження GeoDATA Zones дозволяє підприємству ефективніше використовувати ресурси, оскільки система автоматично аналізує дані, формує прогнози та видає рекомендації щодо необхідності проведення додаткових заходів безпеки. Це не тільки економить кошти, але й значно покращує процес управління виробництвом.

5. Підвищення надійності виробничого процесу. Неявний економічний ефект впровадження GeoDATA Zones також включає

підвищення загальної ефективності підприємства та покращення довіри до його роботи з боку партнерів, інвесторів та регулюючих органів. Використання сучасних цифрових технологій для контролю за стійкістю кар'єру є важливим фактором при оцінці стабільності компанії, що може вплинути на залучення нових контрактів, інвестицій та міжнародного співробітництва.

Таким чином, неявні економічні ефекти впровадження системи включають не тільки безпосередню економію коштів, а й запобігання потенційним збиткам, оптимізацію процесів та покращення репутації підприємства. Завдяки використанню автоматизованої системи моніторингу та аналізу даних, підприємство отримує стратегічні переваги у довгостроковій перспективі.

Отже, впровадження системи GeoDATA Zones сприяє не лише оптимізації витрат і підвищенню ефективності моніторингу стійкості бортов кар'єру, а й мінімізує неявні економічні ризики, які можуть спричинити значні фінансові втрати. Завдяки автоматизації процесів аналізу, своєчасному виявленню небезпечних зон та інтеграції аналітичних даних система дозволяє уникнути простоїв техніки, аварійних ситуацій та потенційних екологічних штрафів [44]. Крім того, зниження ризику людських помилок у розрахунках та відмовостійкість автоматизованого підходу забезпечують більш надійне та ефективне управління виробничими процесами [45, 46].

У довгостроковій перспективі використання GeoDATA Zones дозволяє підприємству підвищити рівень безпеки, забезпечити екологічну відповідність, покращити репутацію серед партнерів та державних регулюючих органів, а також значно знизити загальні виробничі ризики. Завдяки цьому підприємство не лише оптимізує свої витрати, а й отримує конкурентну перевагу у галузі, що дозволяє більш ефективно планувати подальший розвиток та забезпечувати стабільність виробничого процесу [47].

ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи було отримано такі результати.

Проведені дослідження ключових проблем і підходів до моніторингу та інтеграції маркшейдерських й геофізичних даних про стійкість бортів кар'єрів. Досліджено підходи та програмні систем, які застосовуються гірничорудними підприємствами у Кривбасі для збору даних. У роботі наведено результати аналізу підходів щодо збору маркшейдерських та геофізичних даних. За результатами проведеного дослідження сформовано постановку задачі дослідження.

Спроектовано та розроблено програмне забезпечення для аналізу стійкості бортів кар'єрів у межах системи GeoDATA Zones, яка дозволяє автоматизувати процес моніторингу стійкості бортів кар'єрів, що суттєво підвищує ефективність аналізу й управління ризиками. Інтеграція маркшейдерських та геофізичних даних забезпечує комплексний підхід до оцінки стійкості гірничих масивів. Програмне забезпечення реалізує методи аналізу факторів впливу на стійкість бортів кар'єрів, що значно підвищує точність прогнозування можливих зрушень та обвалів у кар'єрах. Запропоновані методи базуються на математичному моделюванні складних процесів, на методах математичної статистики для вивчення фізико-механічних властивостей та на багатофакторному аналізі.

Програмний модуль розрахунку стійкості, реалізований у середовищі Delphi, дозволяє швидко та точно виконувати ітераційні розрахунки коефіцієнта запасу стійкості (FoS). Візуалізації результатів у вигляді графіків і таблиць значно полегшує інтерпретацію отриманих даних. Впровадження системи у виробничий процес дозволить суттєво скоротити час аналізу даних, мінімізувати ймовірність людських помилок та підвищити швидкість прийняття управлінських рішень. Це

особливо важливо для великих гірничо-видобувних підприємств, які працюють у складних геологічних умовах. Інтеграція системи з SQL базами даних дозволить забезпечити ефективне зберігання та обробку великих обсягів інформації, що робить систему масштабованою й придатною для використання на різних гірничо-видобувних підприємствах.

Адаптація системи до різних умов експлуатації можлива завдяки гнучкості програмного забезпечення та можливості конфігурування вихідних параметрів, що дозволяє використовувати GeoDATA Zones для моніторингу різних типів кар'єрів та гірничих розробок.

Економічний аналіз проєкту розробки та впровадження системи GeoDATA Zones довів економічну доцільність, оскільки використання цієї системи призведе до зниження витрат на аварійні заходи й буде сприяти покращенню планування видобутку і зменшенню втрат продукції через передбачення зсувів чи обвалів. Неявний економічний ефект включає підвищення рівня безпеки праці, зниження ризиків для персоналу, поліпшення екологічної ситуації завдяки запобіганню аваріям та ефективному використанню природних ресурсів.

Впровадження системи у виробничий процес буде сприяти підвищенню рівня цифровізації гірничої промисловості. Ця система може стати основою для створення єдиної інформаційної системи управління безпекою та ефективністю роботи кар'єрів у майбутньому.

Отже, у ході виконання дипломної роботи було виконані усі поставлені завдання. Основна мета щодо підвищення ефективності управління гірничими роботами та мінімізації ризиків аварійних ситуацій за рахунок розробки та впровадження програмної системи була досягнута.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черняєв О., Павличенко А., Романенко О., Вовк Ю. Обґрунтування ресурсозберігаючої технології при розробці родовищ для виробництва щебеневої продукції. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. DOI: 10.33271/mining15.04.099.
2. Carvalho F. P. Mining industry and sustainable development: time for change. *Food and Energy Security*. 2017. Vol. 6, No. 2. P. 61-77. DOI: 10.1002/FES3.109.
3. Горова А., Павличенко А., Борисовська О., Крупська Л. Розробка методології оцінки ступеня екологічного ризику в гірничодобувних регіонах. *Annual Scientific-Technical Collection – Mining of Mineral Deposits*. 2013. P. 207-209. DOI: 10.1201/b16354-38.
4. Gumenik I. Current condition of damaged lands by surface mining in Ukraine and its influence on environment. *New Developments in Mining Engineering*. 2015. P. 139. DOI: 10.1201/B19901-26.
5. Shamsi M., Pourrahimian Y., Rahmanpour M. Optimisation of open-pit mine production scheduling considering optimum transportation system between truck haulage and semi-mobile in-pit crushing and conveying. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2022. Vol. 36, No. 2. P. 142-158. DOI: 10.1080/17480930.2021.1996983.
6. Abbaspour H., Drebenstedt C., Paricheh M., Ritter R. Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2019. Vol. 33, No. 5. P. 297-317. DOI: 10.1080/17480930.2018.1435968.
7. Symonenko V. I., Haddad J. S., Cherniaiev O. V., Rastsvietaiev V. O., Al-Rawashdeh M. O. Substantiating systems of open-pit mining equipment in the context of specific cost. *Journal of The Institution of*

Engineers (India): Series D. 2019. Vol. 100. P. 301-305. DOI: 10.1007/s40033-019-00185-2.

8. Ishchenko K., Konoval V., Lohvyna L. An effective way to rock mass preparation on metallic and nonmetallic quarries Ukraine. E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 109. P. 00031. DOI: 10.1051/e3sconf/201910900031.

9. Федин К. А. Численна оцінка сейсмічного впливу масових вибухів на стійкість породних уступів. Вісник Криворізького національного університету. 2014. Вип. 36. С. 23–27. https://journal.knu.edu.ua/vknu_36.pdf (дата звернення: 22.01.2025).

10. Федин К. А. Определение величины ударных воздушных волн при проведении массовых взрывов на карьере ОАО "ЮГОК". Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов. Дніпро: ІГТМ НАНУ. 2013. Вип. 111. С. 174–180.

11. Романенко А. А. Оцінка методів спостережень гірничих виробок шахти «Центральна» на стійкість північного борту кар'єра ПАТ «ІНГОК». Вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг: КНУ, 2012. Вип. 31. С. 3–5.

12. Бондаренко В. І. Геомеханіка відкритих гірничих робіт: підручник. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2015. – 450 с.

13. Кузьменко В. С. Маркшейдерія: підручник. – Київ: Вища школа, 2016. – 320 с.

14. Мельник В. Г. Геофізичні методи дослідження гірських порід. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 280 с.

15. Петренко О. П. Стійкість бортів кар'єрів: монографія. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2018. – 360 с.

16. Сидоренко П. М. Геотехнічний моніторинг у гірничих роботах. Харків: НТУ "ХПІ", 2019. 290 с.

17. Ткаченко Л. В. Моделювання деформацій гірських масивів. Донецьк: ДонНТУ, 2016. 310 с.

18. Федорчук В. І. Інженерна геологія та гідрогеологія: підручник. Одеса: ОНУ, 2020. 400 с.
19. Хоменко А. П. Сучасні методи маркшейдерських вимірювань. Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. 275 с.
20. Червоненко І. О. Автоматизація обробки геоданих у маркшейдерії. Київ: НАН України, 2019. 330 с.
21. Шевченко М. С. Геомеханічні процеси в кар'єрах. Полтава: ПолтНТУ, 2018. 350 с.
22. Hoek E., Bray J. Rock Slope Engineering. 4th ed. London: Taylor & Francis, 1981. 358 p. URL: <https://www.scribd.com/document/684452101/Rock-Slope-Engineering-Hoek-Bray-1981> (дата звернення: 11.02.2025).
23. Wyllie D. C., Mah C. W. Rock Slope Engineering: Civil and Mining. 4th ed. London: Spon Press, 2004. 431 p.
24. Mind Maps for Business Analysis URL: <https://www.batimes.com/articles/mind-maps-for-business-analysis/> (дата звернення: 11.02.2025).
25. Collaborative mind mapping URL: <https://miro.com/mind-map/> (дата звернення: 11.02.2025).
26. Use Case Diagram - Unified Modeling Language (UML) URL: <https://www.geeksforgeeks.org/use-case-diagram/> (дата звернення: 11.02.2025).
27. The Unified Modeling Language URL: <https://www.uml-diagrams.org/> (дата звернення: 11.02.2025)
28. Read J., Stacey P. Guidelines for Open Pit Slope Design. Collingwood: CSIRO Publishing, 2009. 496 p.
29. Brady B. H. G., Brown E. T. Rock Mechanics for Underground Mining. 3rd ed. Dordrecht: Springer, 2006. 626 p.
30. Hudson J. A., Harrison J. P. Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles. Oxford: Pergamon, 1997. 444 p. URL:

<https://faculty.tafreshu.ac.ir/file/download/course/1583681961-engineering-rock-mechanics-volume1.pdf> (дата звернення: 11.02.2025).

31. Goodman R. E. Introduction to Rock Mechanics. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1989. 562 p.

32. Bieniawski Z. T. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering. New York: John Wiley & Sons, 1989. 272 p.

33. Palmström A., Stille H. Rock Engineering. London: ICE Publishing, 2010. 408 p.

34. Agile Prioritization Techniques: Mastering Scrum & RICE Methods URL: <https://clickup.com/blog/agile-prioritization-techniques/> (дата звернення: 11.02.2025).

35. Agile Prioritization Techniques: 8 Models to Develop a Product URL: <https://fellow.app/blog/productivity/agile-prioritization-techniques-models-to-develop-a-product/>

36. Eberhardt E. The Hoek–Brown Failure Criterion // Rock Mechanics and Engineering, Vol. 1: Principles. London: CRC Press, 2017. С. 267–298.

URL: https://www.researchgate.net/publication/257445422_The_Hoek-Brown_Failure_Criterion (дата звернення: 11.02.2025).

37. Fell R., Ho K. K. S., Lacasse S., Leroi E. Geotechnical Engineering of Dams. 2-ге вид. London: CRC Press, 2014. 934 с.

38. Круковська В. В., Круковський О. П., Кочерга В. М., Костиця А. О. Розв'язання зв'язаних задач геомеханіки та фільтрації газу для забезпечення безпеки гірничих робіт // Гео-Технічна Механіка. Дніпро: ІГТМ НАНУ, 2022. №160. С. 106–122.

39. Скіпочко С. І., Круковський О. П., Круковська В. В., Паламарчук Т. А. Особливості виділення метану в вугільних шахтах при високошвидкісному проведенні лав // Актуальні наукові дослідження у сфері ресурсозберігаючих технологій видобутку та переробки корисних

копалин: монографія. Софія, Болгарія: "Св. Іван Рильський", 2020. С. 208–225. URL: <https://www.researchgate.net/publication/344123456>

Features_of_methane_emission_in_coal_mines_at_high-speed_longwall_face_advance (дата звернення: 11.02.2025).

40. Круковський О., Круковська В., Курносів С., Демін В., Коробченко В., Зеркаль В. Використання сталевих та ін'єкційних анкерів для підтримки гірничих виробок при перетині тектонічних розломів // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV Міжнародна конференція "Нариси гірничої науки та практики". 2023. №1156. Стаття 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/1156/1/012024

41. Гапєєв С. М., Коваленко В. В. Вплив корозійного зносу на несучу здатність металевого кріплення із СВП профілю і зниження термінів його експлуатації // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». 2023. №1(29). URL: <https://mining-geology.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/07/8-statya-korrozyya-krepy-gapeev-kovalenko-.pdf> (дата звернення: 11.02.2025).

42. Delphi Programming Language: Definition, Evolution, Comparison, Data Access Components
URL: <https://www.devart.com/delphi-programming-language/> (дата звернення: 11.02.2025).

43. Delphi Developer's Guide URL: https://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Athens/en/Delphi_Developer%27s_Guide (дата звернення: 11.02.2025).

44. Romanenko A. Development of an efficient database for geophysical and surveying monitoring for the Geodata Zones System, Geotechnical Mechanics, 2024, № 169, 86-95 p.p. DOI <https://doi.org/10.15407/geotm2024.169.086> .

45. Романенко А.О. Основні засади розробки системи geodatazones для моніторингу стану бортів глибоких кар'єрів // International scientific conference "MININGMETALTECH 2024 – The mining

and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024.). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. 347-349 p. DOI https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-116_.

46. Romanenko A.O. Theoretical foundations of the development of the iron ore industry in Ukraine. // International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29–30, 2023.). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 1. 257-268 p. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-12> .

47. Romanenko A.O. Theoretical foundations of the development of the iron ore industry in Ukraine. // International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29–30, 2023.). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 1. 202-204 p.

ДОДАТОК А.
Відомості роботи

Таблиця А.1 – Відомості роботи

Формат	№ п/п	Назва документу	Найменування об'єкту або вибору	Кількість сторінок
A4	1	Пояснювальна записка	КЦТПАР.122-23-1м.01.00.КР.ПЗ	108
Графічна частина				
A4	2	Актуальність дослідження	КЦТПАР.122-23-1м.01.01.КР.ПЗ	1
A4	3	Мета та задачі дослідження	КЦТПАР.122-23-1м.01.02.КР.ПЗ	1
A4	4	Фактори впливу на стійкість гірничих масивів	КЦТПАР.122-23-1м.01.03.КР.ПЗ	1
A4	5	Фактори впливу на стійкість гірничих масивів	КЦТПАР.122-23-1м.01.04.КР.ПЗ	1
A4	6	Бізнес вимоги до системи GeoDATA Zones	КЦТПАР.122-23-1м.01.05.КР.ПЗ	1
A4	7	Функціональні вимоги до GeoDATA Zones	КЦТПАР.122-23-1м.01.06.КР.ПЗ	1
A4	8	Діаграма послідовності	КЦТПАР.122-23-1м.01.07.КР.ПЗ	1
A4	9	Стек технологій	КЦТПАР.122-23-1м.01.08.КР.ПЗ	1
A4	10	Діаграма сутність-зв'язок	КЦТПАР.122-23-1м.01.09.КР.ПЗ	1
A4	11	User Story Mapping	КЦТПАР.122-23-1м.01.10.КР.ПЗ	1
A4	12	Інтерфейс модуля розрахунків запасу стійкості бортів кар'єру	КЦТПАР.122-23-1м.01.11.КР.ПЗ	1
A4	13	Інтерфейс модуля розрахунків запасу стійкості бортів кар'єру	КЦТПАР.122-23-1м.01.12.КР.ПЗ	1
A4	14	Результати розрахунку	КЦТПАР.122-23-1м.01.13.КР.ПЗ	1

		контрольного прикладу		
A4	15	Економічне обґрунтування проєкту розробки системи GeoDATA Zones	КЦТПАР.122- 23-1м.01.14.КР.ПЗ	1
A4	16	Апробація роботи	КЦТПАР.122- 23-1м.01.15.КР.ПЗ	1
A4	17	Висновки	КЦТПАР.122- 23-1м.01.16.КР.ПЗ	1

ДОДАТОК Б.

Публікацій за результатами
виконання кваліфікаційної роботи

Romanenko A. Development of an efficient database for geophysical and surveying monitoring for the Geodata Zones System, *Geo-Technical Mechanics*, 2024, № 169, 86-95 p.p.

– DOI <https://doi.org/10.15407/geotm2024.169.086> .

86 ISSN 1607-4556 (Print), ISSN 2309-6004 (Online) *Geo-Technical Mechanics*. 2024. № 169

UDC 622.1

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2024.169.086>

**DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT DATABASE FOR GEOPHYSICAL AND SURVEYING
MONITORING FOR THE GEODATA ZONES SYSTEM**

Romanenko A.

Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC

Abstract. This article delves into the development of an advanced database aimed at integrating and analyzing geophysical and surveying data within the GeoDATA Zones monitoring system, specifically tailored for quarry applications. Modern mining operations face significant risks such as landslides, collapses, and other geological hazards due to inadequate data management practices. The GeoDATA Zones system addresses these challenges by implementing innovative data processing methods using machine learning and artificial intelligence algorithms. This article's primary goal is to showcase how the development of a structured database can improve the speed, accuracy, and reliability of geophysical and surveying data analysis, which in turn supports more effective decision-making processes.

Key factors influencing the stability of rock masses, including geological formations, physical properties of rocks, fracturing, and the impact of ongoing mining activities, are thoroughly explored. The article also examines environmental influences, such as water saturation and seismic activities, which can further destabilize rock structures. Furthermore, the article highlights the critical role that a well-structured database plays in ensuring data integrity, security, and scalability, while also enabling integration with other systems utilized in the mining sector. The database design considers logical and physical structures, with Microsoft SQL Server being the primary database management system. Additionally, visualization tools such as Power BI are leveraged to enhance data interpretation, analysis, and reporting capabilities for real-time decision-making.

The development process incorporates robust security measures, including multi-level user authentication, data encryption, and access control protocols to safeguard against unauthorized access and ensure the system's resilience. Research findings suggest that GeoDATA Zones can significantly improve the efficiency, safety, and sustainability of mining operations, thereby contributing to the long-term success of mining enterprises. This solution fosters proactive decision-making and risk mitigation, aligning with the industry's push toward more sustainable and environmentally conscious mining practices.

Keywords: geophysical condition, rock mass stability, database management, void detection in rock formations, machine learning, mining safety, data integration, sustainable mining practices.

1. Introduction

In modern mining, significant attention is paid to effective data management related to the stability of rock masses. Monitoring systems such as GIS Terra Mining, MineScape, and RockWare are critical for ensuring the safety of mining operations, as they enable comprehensive analysis of the condition of rock masses through geological and surveying data. The importance of these systems is underscored by the need for timely detection of potential risks such as landslides and collapses, which could endanger worker safety and affect the efficiency of extraction operations.

The primary goal of this article is to develop an effective database for integrating and analyzing surveying and geophysical data within the GeoDATA Zones monitoring system for quarries. This task is becoming increasingly relevant due to the need to use modern digital technologies for the collection, processing, and analysis of large and continuously expanding datasets. The development of a structured database will improve the speed and accuracy of analysis, as well as support informed decision-making regarding the management of quarry stability.

The article examines the key factors affecting the stability of rock masses, including geological structure, physical properties of rocks, the seismic impact of drilling and blasting operations, as well as the influence of mining excavations. An analysis of data collection methods is conducted, particularly surveying and



geophysical methods, which provide a comprehensive approach to studying quarry conditions [1–10].

This article also highlights the significance of utilizing machine learning and artificial intelligence algorithms to enhance data processing efficiency and predict potential threats. In addition, it emphasizes the importance of ensuring data security, scalability, and the ability to integrate with other systems used in the mining industry.

Thus, the development of a database for the GeoDATA Zones system will make a significant contribution to improving the efficiency and safety of mining operations and will also lay the groundwork for further research and development in this field.

2. Methods

Development of an effective database for the GeoDATA Zones system is a key step in ensuring reliable and accurate collection, processing, and analysis of geophysical and surveying data. This system aims to integrate various data to improve the efficiency of geoenvironmental research in managing mining processes. This section of the article discusses the methods and tools that will be used to create the database.

Structural analysis of the database involves determining the optimal architecture that ensures the integrity, reliability, and scalability of the system. The main components of the GeoDATA Zones database include:

- *Entities and attributes*: Defining the main entities, such as geophysical data, surveying data, monitoring zones, data on mine workings, and others. Each entity has a set of attributes that describe its characteristics and properties.

- *Relationships between entities*: Defining the relationships between different entities to ensure data integration and interaction. This includes establishing one-to-many and many-to-many relationships, allowing the integration of various data types into a single system.

- *Data hierarchy*: Creating a hierarchical data structure that enables efficient organization and management of information. This includes classifying data by type, importance level, and other characteristics.

- *Data indexing*: Developing indexes for quick access to data, ensuring optimal system performance during queries and analysis.

The process of developing the database for GeoDATA Zones includes several stages to ensure its reliability and efficiency:

1. Requirements analysis:

- *Collecting requirements*: Identifying user needs and specifications for the database, including data types, volume of information, and security requirements.

- *Analysis of existing systems*: Reviewing similar solutions to determine best practices and avoid potential issues.

2. Database design:

- *Logical design*: Creating a conceptual model of the database, which includes defining entities, attributes, and their relationships.

- *Physical design*: Developing the physical structure of the database, including selecting the type of DBMS (database management system), determining the data storage format, and optimizing the structure.

3. Database implementation:

- Selecting a DBMS: Choosing the optimal database management system (e.g., PostgreSQL, Microsoft SQL Server, Oracle) that meets the needs of the GeoDATA Zones system.

- Creating tables and relationships: Implementing the database structure in the selected DBMS, including creating tables, defining relationships, and establishing constraints to ensure data integrity.

4. Integration and testing:

- Data integration: Selecting methods for user data input into the GeoDATA Zones system.

- Testing: Conducting database testing to identify and correct possible errors, as well as to verify its performance, security, and functionality.

5. Ensuring data security:

- Authentication and authorization: Implementing mechanisms for controlling access to the database, including user authentication and defining access rights.

- Backup: Setting up backup and data recovery procedures to prevent data loss in case of emergencies.

6. Scalability and optimization:

- Query optimization: Applying optimization techniques to improve query performance and reduce system response time.

- Scalability: Ensuring the database can be expanded without losing performance, allowing it to handle increasing volumes of data.

Various tools and technologies will be used for database development and maintenance:

- SQL (Structured Query Language): Used to manage data in relational databases, including creating tables, relationships, and executing queries.

- ETL (Extract, Transform, Load): Tools for extracting, transforming, and loading data from different sources into a single database.

- Visualization tools: Tableau, Power BI for creating interactive visualizations and reports based on data from the database.

3. Theoretical part

The GeoDATA Zones system represents a comprehensive approach to managing and analyzing geophysical and surveying data, which are critically important for ensuring safety and controlling the efficiency of mining operations. The foundation of this system's development lies in creating a reliable and scalable database that allows the integration of various data and provides real-time access to them.

Integration of geophysical and surveying data.

The integration of geophysical and surveying data is one of the key aspects of the GeoDATA Zones system. This approach ensures a comprehensive assessment of rock mass stability and the identification of potential risks. Such integration includes:

- Combining data from different sources: This includes seismic survey data, GNSS measurements, the presence of mine workings within specific zones, hydrogeological, and geological data.

– Intelligent analysis of research results to assess the impact on mining safety: Machine learning and artificial intelligence algorithms are used for data analysis and predicting potential risks. This allows evaluating the impact of various factors on the stability of rock masses and developing risk mitigation strategies, which ensures the safety of mining operations. This approach enables the timely identification of potential threats and the development of appropriate preventive measures.

The GeoDATA Zones system uses a general data structure approach that includes normalization to ensure data integrity and reduce redundancy, as well as indexing to optimize data access speed. The relational model allows for the effective integration of data from various sources, ensuring logical organization and ease of access to information.

Data security methods.

Data security is a key aspect in the development of the GeoDATA Zones database. This includes:

– Access control: Using authentication and authorization to manage user access to the system.

– Backup: Regular creation of data backups to protect against data loss in the event of emergencies.

Using Microsoft SQL Server.

Microsoft SQL Server is the primary tool for implementing the GeoDATA Zones database due to its numerous advantages:

– Support for large volumes of data: SQL Server can handle large volumes of data, which is critically important for the mining industry.

– Integration with other tools: Easy integration with Power BI, Excel, and other products for data analysis and visualization.

– Geospatial capabilities: Support for geospatial data, allowing for work with maps and geographic information.

– High security: Features such as encryption, access control, and other security functions ensure data protection.

Application of theory in practical implementation.

The development of the GeoDATA Zones system is based on theoretical principles of geophysical data integration and processing, which allows for:

– Improving monitoring efficiency: Ensuring real-time access to relevant data and the ability to analyze them in real-time.

– Enhancing the safety of mining operations: By identifying potential risks and threats, in each studied zone of the quarry field, the GeoDATA Zone system allows for situation control through the development and implementation of safety measures, which are designed and implemented by system users and the working staff of the enterprise and subcontracting organizations.

4. Results

In the GeoDATA Zones system, several key user roles have been defined, each playing an important part in ensuring the effective monitoring and management of quarries. The importance of clearly defining roles lies in providing optimal system

access, allowing users with different tasks to perform their functions with maximum efficiency. Each role has specific responsibilities that contribute to the collection, analysis, and processing of data, ensuring safety and improving productivity in the mining industry. Below are the main user roles and their responsibilities.

GeoDATA Zones System Users and Their Functions.

1. Surveyor/Geologist:

- Data collection: Conducts surveying to detect changes in rock formations and collects geological data for analysis and assessment of quarry field conditions.

- Geological data analysis: Analyzes collected data to assess the condition and stability of rock masses, considering factors such as water saturation and geophysical characteristics.

- Data entry: Submits processed data to the system for further processing and analysis.

2. System Administrator:

- User management: Creates, edits, and deletes user accounts, providing or restricting access to the system.

- System monitoring and maintenance: Ensures the system's stability and security, implements software updates, and resolves technical issues.

- System configuration: Configures system parameters to ensure efficient data processing and meet security requirements.

3. Inspector:

- Safety monitoring: Receives reports and alerts on potential risks and hazardous conditions, analyzes this information to ensure workplace safety.

- Safety status assessment: Conducts safety inspections to ensure compliance with safety standards and develops measures to address identified issues.

- Documenting actions: Records data on incidents and safety violations that occur during monitoring.

4. Data Analyst:

- Data processing and analysis: Collects data necessary for analysis, applies statistical and analytical tools to identify trends and anomalies that could affect mining safety and efficiency.

- Report creation: Prepares reports based on data analysis, including conclusions and recommendations for management decisions.

- Data visualization: Uses tools to create visualizations that help understand the results and present them in a user-friendly format for decision-making.

In the GeoDATA Zones system, the structure of the database is a critically important component, ensuring effective information management and support for various functional capabilities. A well-designed structure allows the integration of geophysical, surveying, and other data necessary for comprehensive monitoring of mining objects. It includes entities such as geophysicists, zones, safety factors, and others, each with its own attributes that reflect specific characteristics such as identifiers, values, and timestamps. This structure ensures the interconnection of data, optimizes the speed of access and data processing, and maintains a high level of security and

data integrity. It allows users to access critical information in real-time, necessary for decision-making in mining operations.

Database Structure:

1. Geofisic: This entity represents geophysicists responsible for measuring geophysical parameters in various zones.

- Geofisic ID: integer(10) (Primary Key) – Unique identifier for the geophysicist.

- Geofisic Full Name: varchar(255) – Full name of the geophysicist.

- Instrument Factory Number: integer(10) – Factory number of the instrument.

2. Impact of the mine: This entity refers to the presence of the influence of underground mine workings or voids within the zone.

- ID of mine measurement: integer(10) (Primary Key) – Identifier of the mine impact measurement.

- Geofisic/GeoFosic ID: integer(10) – Identifier of the geophysicist conducting the measurements.

- ZonesZoneID: integer(10) – Zone identifier where the measurements were taken.

- Measurements Time: time(7) – Time of measurement.

- Value of impact: real(10) – Impact value measured by a gravimeter or converted to a dimensionless quantity.

3. Fractal dimension: This entity includes data on fractal measurements in the zones of influence.

- Fractal ID: integer(10) (Primary Key) – Identifier of the fractal dimension measurement.

- ZonesZoneID: integer(10) – Zone identifier where the measurements were taken.

- Geofisic/GeoFosic ID: integer(10) – Identifier of the geophysicist conducting the measurements.

- Fractal dimension: real(10) – Fractal dimension measured in the zone.

- Measurements Time: time(7) – Time of measurement.

4. Factor of safety (FoS): This entity includes data on the safety factor in the zones of influence.

- Factor of safety ID: integer(10) (Primary Key) – Identifier of the safety factor measurement.

- ZonesZoneID: integer(10) – Zone identifier where the measurements were taken.

- Geofisic/GeoFosic ID: integer(10) – Identifier of the geophysicist conducting the measurements.

- Value: integer(10) – Value of the safety factor measured in the zone.

- Measurements Time: time(7) – Time of measurement.

5. Zones: This entity represents the geographical or conditional zones that are studied or monitored as part of the project.

- ZoneID: integer(10) (Primary Key) – Unique identifier of the zone.

- Zone name: varchar(255) – Name of the zone.

- X1Coordinate – Y4Coordinate: real(10) – Coordinates of the zone (4 points for positioning).

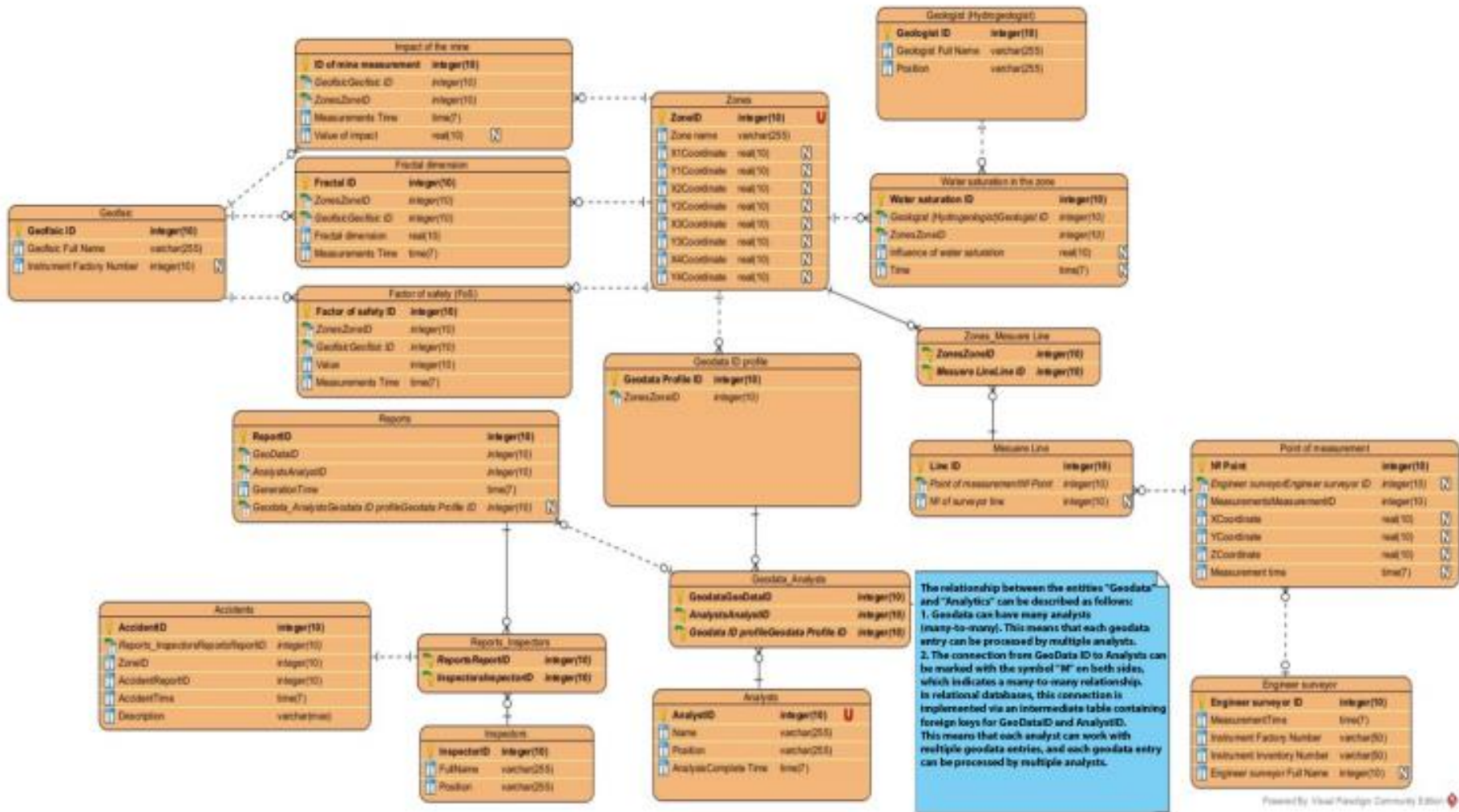


Figure 1 – Entity-relationship diagram

6. Geologist (Hydrogeologist): This entity represents geologists specializing in hydrogeology or geology.
 - Geologist ID: integer(10) (Primary Key) – Unique identifier of the geologist.
 - Geologist Full Name: varchar(255) – Full name of the geologist.
 - Position: varchar(255) – Position (geologist, hydrogeologist).
7. Water saturation in the zone: This entity includes data on the water saturation level of the ground in the study zones.
 - Water saturation ID: integer(10) (Primary Key) – Identifier of the water saturation measurement.
 - Geologist ID: integer(10) – Identifier of the geologist conducting the measurements.
 - ZonesZoneID: integer(10) – Zone identifier where the measurements were taken.
 - Influence of water saturation: real(10) – Influence of water saturation on the zone.
 - Time: time(7) – Time of measurement.

5. Conclusions

1. Improving mining safety: During development, the GeoDATA Zones system has the potential to significantly enhance mining safety by integrating geophysical and surveying data. The system is expected to enable timely identification of potential risks such as landslides and collapses, ensuring quick decision-making and the implementation of appropriate safety measures.

2. Innovative approach to data management: The development of GeoDATA Zones is based on an innovative approach to managing large volumes of data, which includes the use of machine learning algorithms and artificial intelligence. This approach is intended to ensure efficient data analysis, forecasting potential threats, and developing risk mitigation strategies, ultimately improving mining operations' efficiency.

3. Scalability and integration with other systems: The GeoDATA Zones database is designed to ensure future scalability and the ability to integrate with other systems used in the mining industry. This will allow for the storage and processing of growing data volumes without loss of performance, as well as integration with tools like Power BI for data visualization.

4. Ensuring data integrity and security: In the development of GeoDATA Zones, significant attention is given to ensuring data integrity and security. The implementation of authentication and authorization mechanisms will provide access control, and regular data backups are intended to protect against data loss in emergency situations, which is critical for information security.

5. Diversity of users and their roles: GeoDATA Zones supports a variety of users, including surveyors, geologists, inspectors, system administrators, and analysts. Each role will have its specific functions, ensuring a comprehensive approach to data collection, processing, and analysis, as well as supporting safety in the workplace.

REFERENCES

1. Cherniaiev, O., Pavlychenko, A., Romanenko, O. and Vovk, Y. (2021), "Substantiation of resource-saving technology when mining the deposits for the production of crushed-stone products", *Mining of Mineral Deposits*, vol. 15, pp. 99–106. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.099>.
2. Carvalho, F.P. (2017), "Mining industry and sustainable development: time for change", *Food and Energy Security*, vol. 6(2), pp. 61–77. <https://doi.org/10.1002/FES3.109>.
3. Gorova, A., Pavlychenko, A., Borysovs'ka, O. and Krups'ka, L. (2013), "The development of methodology for assessment of environmental risk degree in mining regions", *Mining of Mineral Deposits*, pp. 207–209. <https://doi.org/10.1201/b16354-38>.
4. Kravets, M.A. and Iskov, S.S. (2022), "Directions for reclamation of disturbed lands", *Materials of the Conference of the State University "Zhytomyr Polytechnic"*, p. 57, available at: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/01/57.pdf> (Accessed 5 June 2024).
5. Shamsi, M., Pourrahimian, Y. and Rahmanpour, M. (2022), "Optimisation of open-pit mine production scheduling considering optimum transportation system between truck haulage and semi-mobile in-pit crushing and conveying", *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, vol. 36(2), pp. 142–158. <https://doi.org/10.1080/17480930.2021.1996983>.
6. Abbaspour, H., Drebenstedt, C., Paricheh, M. and Ritter, R. (2019), "Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem", *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, vol. 33(5), pp. 297–317. <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1435968>.
7. Symonenko, V.I., Haddad, J.S., Cherniaiev, O.V., Rastsvietaiev, V.O. and Al-Rawashdeh, M.O. (2019), "Substantiating systems of open-pit mining equipment in the context of specific cost", *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 100, pp. 301–305. <https://doi.org/10.1007/s40033-019-00185-2>.
8. Ishchenko, K., Konoval, V. and Lohvyna, L. (2019), "An effective way to rock mass preparation on metallic and nonmetallic quarries Ukraine", *E3S Web of Conferences*, 109, 00031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900031>.
9. Braun, T., Hennig, A. and Lottermoser, B.G. (2017), "The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry", *Journal of Sustainable Mining*, vol. 16(1), pp. 24–30. <https://doi.org/10.1016/J.JSM.2017.06.003>.
10. Dryzhenko, A., Moldabayev, S., Shustov, A., Adamchuk, A. and Sarybayev, N. (2017), "Open pit mining technology of steeply dipping mineral occurrences by steeply inclined sublayers", *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, vol. 17(13), pp. 599–606. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/13/s03.076>.
11. Kovrov, O., Babiy, K., Rakishev, M. and Kuttybayev, A. (2016), "Influence of watering filled-up rock massif on geomechanical stability of the cyclic and progressive technology line", *Mining of Mineral Deposits*, vol. 10(2), pp. 55–63. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.055>.

About the author

Romanenko Andrii, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), student of group 122-23-1-M, Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC, Zaporizhzhia, Ukraine, romanenkoa87@gmail.com, **ORCID 0000-0002-8381-8873**

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ БАЗИ ДАНИХ ГЕОФІЗИЧНОГО ТА МАРКШЕЙДЕРСЬКОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ СИСТЕМИ GEODATA ZONES

Романенко А.

Анотація. У статті розглядається розробка вдосконаленої бази даних, призначеної для інтеграції та аналізу геофізичних і маркшейдерських даних у системі моніторингу GeoDATA Zones, яка спеціально адаптована для використання на кар'єрах. Сучасні гірничі операції стикаються зі значними ризиками, такими як зсуви, обвали та інші геологічні небезпеки, що виникають через неефективне управління даними. Система GeoDATA Zones вирішує ці проблеми шляхом впровадження інноваційних методів обробки даних із використанням алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту. Основна мета статті — показати, як розробка структурованої бази даних може покращити швидкість, точність та надійність аналізу геофізичних і маркшейдерських даних, що, своєю чергою, підтримує більш ефективний процес прийняття рішень.

У статті детально розглядаються ключові фактори, що впливають на стійкість гірських масивів, такі як геологічні утворення, фізичні властивості порід, тріщинуватість і вплив поточних гірничих робіт. Крім того, аналізуються й інші фактори, зокрема насичення водою та сейсмічна активність, які можуть додатково дестабілізувати породи. Стаття підкреслює важливу роль добре спроектованої бази даних, яка забезпечує цілісність, безпеку та масштабованість даних, а також можливість інтеграції з іншими системами, що використовуються у гірничій промисловості. Проектування бази даних враховує як логічну, так і фізичну структури, причому основною системою управління базами даних обрано Microsoft SQL Server. Крім того, для покращення інтерпретації даних, аналізу та створення звітів використовуються інструменти візуалізації, такі як Power BI, що дають можливість приймати рішення в реальному часі.

Процес розробки бази даних включає впровадження надійних заходів безпеки, таких як багаторівнева автентифікація користувачів, шифрування даних і протоколи контролю доступу, які захищають систему від несанкціонованого доступу та забезпечують її стійкість. Результати досліджень показують, що система GeoDATA Zones може суттєво підвищити ефективність, безпеку та сталість гірничих робіт, що сприятиме довгостроковому успіху гірничих підприємств. Це рішення сприяє проактивному прийняттю рішень і зменшенню ризиків, що відповідає прагненню галузі до більш сталих і екологічно відповідальних гірничих практик.

Ключові слова: геофізичний стан, стійкість гірських масивів, управління базами даних, виявлення порожнин у гірських породах, машинне навчання, безпека гірничих робіт, інтеграція даних, сталі гірничі практики.

49. Романенко А.О. ОСНОВНІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ GEODATAZONESДЛЯ МОНІТОРИНГУСТАНУБОРТІВ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ // International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1., 347-349 p.p. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-116>

Riga, the Republic of Latvia

November 28–29, 2024

Перелік використаних джерел

1. Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Wang, H. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey. arXiv.org e-Print archive. URL: <https://arxiv.org/html/2312.10997v5#S2> (дата звернення: 25.10.2024).
2. Demir N. Hands-On with RAG: Step-by-Step Guide to Integrating Retrieval Augmented Generation in LLMs. Medium. URL: <https://blog.demir.io/hands-on-with-rag-step-by-step-guide-to-integrating-retrieval-augmented-generation-in-llms-ac3cb075ab6f> (дата звернення: 25.10.2024).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-116>

FUNDAMENTAL PRINCIPLES FOR DEVELOPING THE GEODATA ZONES SYSTEM FOR MONITORING THE STABILITY OF DEEP QUARRY SLOPES

ОСНОВНІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ GEODATA ZONES ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ БОРТІВ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ

Romanenko A.O.,
PhD, Student (group 122-23-1M),
LLC “Metinvest Polytechnic
Technical University,”
Zaporizhzhia, Ukraine

Романенко А.О.,
к.т.н., студент гр. 122-23-1М,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна

Вступ. Промислові об'єкти, такі як кар'єри, вимагають постійного моніторингу стійкості, оскільки зміни в геологічних умовах або порушення цілісності бортів можуть призвести до небезпечних ситуацій, включаючи обвали та зсуви. Забезпечення стабільності гірничих робіт є ключовим фактором для безпеки працівників і збереження обладнання, а також для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Система “GeoDATA zones” призначена для інтеграції даних з різних джерел, включаючи маркшейдерські і геофізичні вимірювання, щоб забезпечити комплексний підхід до аналізу стійкості бортів. Використання таких даних дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан гірничих масивів у реальному часі, оперативно реагувати на зміни і вживати заходів для запобігання аварійним ситуаціям. Крім того, система інтегрує історичні дані, що дозволяє проводити довгостроковий аналіз та прогнозування ризиків, визначаючи зони підвищеної небезпеки.

Таким чином, застосування технологій цифрового моніторингу та інтеграції даних дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки і стабільності кар'єрних бортів, зменшуючи ймовірність аварій та забезпечуючи безперервність гірничих операцій.

Методологія. У дослідженні використовуються методи збору й інтеграції даних із застосуванням сучасних цифрових інструментів. Основними етапами є стандартизація форматів даних, передобробка та автоматизація інтеграції, що забезпечує цілісність даних для їхнього аналізу у реальному часі.

Результати. Система **GeoDATA Zones** розробляється для покращення моніторингу та забезпечення стійкості бортів глибоких та надглибоких кар'єрів. Її створення обумовлено потребою в комплексному рішенні для збору, обробки та аналізу даних натурних спостережень та інформації про масив, що дозволить своєчасно реагувати на потенційні загрози. Основними засадами системи є інтеграція різнорідних даних, автоматизація обробки та підтримка користувачів у прийнятті рішень на основі аналізу звітів, які створюються напівавтоматично.

Основні засади, на яких базується розробка системи **GeoDATA Zones**, включають:

- автоматизацію та гнучкість введення даних: система передбачає завантаження даних через CSV-файли або введення вручну, що дозволяє оперативно вносити дані з різних джерел без необхідності складних інтеграцій. Це забезпечує легкість у використанні та гнучкість для різних типів користувачів.

- інтеграцію різнорідних даних: до складу системи мають входити модулі, які збиратимуть та об'єднуюватимуть дані маркшейдерських спостережень, геофізичних досліджень та інші дані, які є важливими для оцінки стійкості ділянки борту кар'єру.

- модулі аналізу та прогнозування: система має забезпечувати аналіз структурних змін на ділянках бортів кар'єру та виявляти потенційно небезпечні зони. Налаштування параметрів виявлення відхилення значень факторів від середніх має автоматично виявляти аномалії, що можуть передувати обвалам або іншим загрозам.

- інтерактивна візуалізація та звітність: користувачі отримують доступ до інтерактивних графіків, що полегшить аналіз даних та ухвалення рішень. Можливість експорту даних та гнучке налаштування звітності забезпечать адаптивність системи до вимог різних спеціалістів.

Очікувані результати від запровадження **GeoDATA Zones**:

- Покращена точність прогнозування та оцінки ризиків. Дасть змогу завчасно виявляти небезпечні зони та розробляти заходи для запобігання аварійним ситуаціям.

– Підтримка адаптивності та доступ до звітності. Можливість завантаження та аналізу даних у різних форматах допоможе користувачам приймати обґрунтовані рішення на основі актуальних даних, підвищуючи загальну безпеку та ефективність гірничих робіт.

Таким чином, розробка GeoDATA Zones спрямована на створення надійної системи моніторингу та аналізу, яка відповідатиме сучасним вимогам безпеки у гірничій галузі та надасть гнучкість у роботі з даними для оперативного прийняття рішень.

Висновки: розроблена система дозволє автоматизувати аналіз стійкості бортів кар'єру, використовуючи інтегровані геофізичні та маркшейдерські дані. Це підвищує рівень безпеки гірничих робіт і дозволє оперативно реагувати на зміни в умовах виробництва.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-117>

**TECHNOLOGIES FOR THE USE OF ARTIFICIAL
INTELLIGENCE AGENTS TO AUTOMATE THE EXECUTION
OF TASKS FOR THE SEARCH AND GENERALISATION
OF DATA FROM EXTERNAL SOURCES**

**ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ АГЕНТІВ ШТУЧНОГО
ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ
З ПОШУКУ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ДАНИХ
ІЗ ЗОВНІШНІХ ДЖЕРЕЛ**

Sahaida P.I.,
*DSc (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сагайда П.І.,
*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Dobriak S.K.,
*PhD (Engineering), LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine;
Donbas State Engineering Academy,
Ternopil, Ukraine*

Добряк С.К.,
*к.т.н., ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна;
Донбаська державна машинобудівна
академія, м. Тернопіль, Україна*

Швидкий розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) та зростання обсягів даних створюють потребу в нових нетривіальних інструментах

Romanenko A.O. Theoretical foundations of the development of the iron ore industry in Ukraine. // International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 1. 257-268 p.p.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-12> .

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-12>

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE DEVELOPMENT OF THE IRON ORE INDUSTRY IN UKRAINE

Romanenko A. O.

INTRODUCTION

The mining industry take a significant role in the development of Ukraine’s economy. Ukraine achieved the status of a leading global producer of iron ore raw materials by February 22, 2022. The country demonstrated a high level of iron ore production, despite challenges and technical complexities.

Ukraine possesses a significant raw iron ore base, including magnetite and oxidized quartzites, which play a crucial role in the mining and metallurgical industry. Technogenic deposits, such as tailing ponds, also contain various materials for further use and enrichment.

This raw material base provides Ukraine with substantial potential for the development of the mining industry and related sectors. However, it is essential to utilize it efficiently and address environmental and technological challenges. Among the key resources, natural-rich iron ores with high metal content, magnetite, and oxidized quartzites stand out, which are utilized in the mining and metallurgical industry.

Technogenic deposits, such as tailing ponds, are a vital part of the raw material base. They contain essential components for further utilization and enrichment. However, it is necessary to maintain a balance between the extraction of valuable minerals and the protection of ecosystems for the sustainable development of the mining industry.

Scientific research and technological advancements are constantly improving, opening up prospects for the further development of iron ore extraction and processing. Investments in the raw material sector and technological advancement will contribute to the successful future of Ukraine’s mining and extraction complex.

According to the state geological and subsoil service of Ukraine’s report for 2019, the total explored balance reserves of iron ores in the country amount to approximately 20.9 billion tons. this quantity indicates a robust potential in the iron ore base, which is crucial for the development of the mining and metallurgical industry¹.

¹ Офіційний сайт Державної служби геології та надр України: <https://www.geo.gov.ua/?s=%D0%91%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%96+%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B8+%D0%B7%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D1%97+%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8>, (Accessed 06 October 2023).

The mentioned 20.9 billion tons are categorized differently. Approximately 11 billion tons constitute reserves that are already in active enterprises. This availability of readily exploitable reserves is a valuable resource for meeting iron ore material needs and ensures the stability of the mining and extraction industry. Based on the average iron ore production rate of approximately 170 million tons per year, it is estimated that the available reserves will last for the next 65 years. Additionally, according to the state geological and subsoil service of Ukraine (DNVP "Geoinform Ukraine") data as of the beginning of 2021, the balance reserves of iron ores amounted to 18,065.04 million tons, which represents a significant quantity of iron ore resources with substantial potential for further exploration and extraction².

For the sustainable development of Ukraine's mining industry and the maximization of benefits from iron ore resources, it is necessary to actively explore new deposits and modernize extraction mechanisms.

This article analyzes the state of Ukraine's mining and extraction complex, focusing on the Kryvyi Rih iron ore basin. It examines factors influencing the industry's productivity and cost-effectiveness, including government support, legislation, technological modernization, and environmental requirements. The aim is to identify development priorities and propose measures to improve the industry's situation and enhance the competitiveness of Ukraine's mining and extraction complex, taking into account contemporary trends and sustainable development requirements.

1. Methods

This section outlines the primary methods and approaches used to optimize the production capacities of mining and extraction enterprises and ensure the sustainable development of the industry.

2.1. Utilization of Research and Analysis.

Thorough research and analysis of geological, mining, and technical parameters of deposits are essential for the efficient use of mineral resources. They help determine the structure and properties of resources and develop optimal approaches to their extraction and processing.

2.2. Innovation and Technology.

The use of modern technologies and innovative approaches is crucial for optimizing mining processes. New technologies³, automated equipment, and

² Портал даних видобувної галузі України: <https://www.eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/rudi-zaliza/>, (Accessed 06 October 2023).

³ Kateryna Babii, Mykhailo Chetveryk, Volodymyr Perehudov, Kostiantyn Kovalov, Ruslan Kiriia, Viacheslav Pshenychnyi (2022) Features of using equipment for in-pit crushing and conveying technology on the open pit walls with complex structure Mining of Mineral Deposits, Volume 16 (2022), Issue 4, 96-102 <https://doi.org/10.33271/mining16.04.096>, (Accessed 06 October 2023)

digital systems enhance productivity and efficiency in extraction, reduce environmental impact, and improve safety⁴.

2.3. Environmental and Social Responsibility.

Preserving the environment and considering social aspects are key elements of optimizing mining processes. Developing and implementing environmentally friendly technologies, minimizing emissions and environmental impact, and ensuring the safety and well-being of employees are industry priorities.

2.4. Rational Resource Utilization and Strategic Planning.

Sustainable industry development involves the efficient use of available mineral resources and careful strategic planning for their extraction. Research into reserves and the development of growth strategies help ensure the industry's long-term viability and balance extraction with sectoral needs.

2.5. Investments and Partnerships.

Investments in the mining industry drive the adoption of new technologies and methods. Partnerships with scientific institutions, businesses, and international organizations facilitate the exchange of expertise and access to modern resources and knowledge.

2.6. Organizational and Technical Measures.

The implementation of a wide range of organizational and technical measures, supported by the government, is a key factor in successfully managing the mining industry. This approach has allowed for the effective increase in iron ore production and the realization of the country's export potential, even in the face of global financial crises and growing competition.

2.7. Sustainable Development and Exports.

The achieved results enable Ukraine to maintain a stable export potential despite global financial crises and competition. The mining industry in Ukraine remains resilient and capable of holding its positions in the global market.

2.8. Challenges of Modern Mining.

The past two decades have been challenging for the mining industry, driven by both objective and subjective factors. This period has not led to significant industry improvements due to natural limitations and management issues.

2.9. Challenges and Prospects.

The industry faces numerous challenges, such as limited technical development, high costs, and a lack of modernization. These aspects hinder industry growth and erode competitiveness in the international market.

⁴ O. Kovrov, K. Babiy, M. Rakishev, A. Kuttybayev (2016) Influence of watering filled-up rock massif on geomechanical stability of the cyclic and progressive technology line Mining of Mineral Deposits Journal homepage Volume 10, Issue 2, pp. 55-63. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.055>, (Accessed 06 October 2023)

These methods and approaches form a crucial foundation for achieving sustainable development in the mining industry and ensuring the efficient utilization of iron ore resources for the needs of the economy and society.

This section emphasizes the importance and challenges of optimizing mining processes, implementing effective technologies, and strategic management to ensure the stable and sustainable development of the iron ore extraction industry.

2. Theoretical part

3.1. Improvement of Strategic Development and Innovative Approaches.

Improving strategic planning and fostering innovation is a crucial task for the state and industry institutions. This will allow attracting investments and promoting the implementation of modern technologies in Ukraine's mining industry. Collaboration with international partners and scientific research can enhance the conditions for the development of the iron ore production sector.

The history of Ukraine's mining industry demonstrates that despite achieving records in iron ore production, it has been challenging to fully restore past performance levels. For example, in 1978, an impressive production volume of 126.4 million tons was reached, but subsequent years brought challenges and obstacles that limited the ability to replicate this success.

Even in 1990, when iron ore production amounted to 104.9 million tons, the industry could not fully restore previous figures. Various factors such as economic crises, changes in global market conditions, productivity losses at old deposits, and a lack of investment altered the prospects for the industry's development.

Active review of strategies and the identification of new development directions, coupled with initiatives for modernization and increased competitiveness, can contribute to the rapid growth of this vital sector of Ukraine's economy and secure its position in the international market.

3.2. Export and Import of Iron Ore: Challenges and Prospects.

In 2021, the industry supplied metallurgical enterprises with iron ore raw materials according to their production needs, and there was no import of iron ore raw materials, indicating the self-sufficiency of the industry⁵.

However, it's important to note that iron ore exports decreased by 4.2% in 2021 compared to the previous year, amounting to 44.5 million tons. Still, the monetary value increased by 62.8% to \$6.9 billion⁶. Despite exports

⁵ Офіційний сайт Об'єднання підприємств «Металургпром»: <https://www.ukrmetprom.org/pidsumki-roboti-gmk-ukraini-za-12-misyaci/>, (Accessed 06 October 2023).

⁶ Офіційний сайт GMK Center: <https://gmk.center/ua/news/ukrainskij-gmk-u-2022-roci-eksportuvav-24-mln-t-zaliznoi->(Accessed 06 October 2023).

accounting for half of the production, the ranking of the product remained low in the global market, making the industry vulnerable to market fluctuations.

This vulnerability is evident through the necessity of importing iron ore raw materials into Ukraine for several years, with imports exceeding 7 million tons. This indicates internal issues within the industry and a lack of domestic resources to produce products that meet global standards.

To enhance the competitiveness and resilience of the mining sector in Ukraine, it is essential to increase investments, improve technologies, enhance product quality, and develop the domestic market. This will help reduce dependence on external factors and increase the industry's resilience to changes in the global market, ultimately promoting the development of the Ukrainian mining sector in the future.

3.3. Resource Availability and Geological Conditions: Challenges and Importance.

The stability of the mining industry depends on the availability of sufficient iron ore reserves and the consideration of geological conditions during extraction. Resource availability allows the industry to plan production and ensures high product quality. Geological conditions affect the organization of mining but can create challenges, particularly in terms of safety and costs.

Preserving and replenishing ore reserves are crucial tasks for the industry's stability. Continuous mining leads to the depletion of deposits, so actively searching for new sources is necessary. Reclamation of mining sites, or the restoration of the natural environment after mining, helps preserve the ecological balance and provides opportunities for sustainable and environmentally friendly mining production.

3.4. New Deposits and Challenges of Underground Mining.

The mining industry in Ukraine continually seeks new deposits and implements advanced technologies. This is necessary to support production but presents challenges such as high costs and compliance with environmental standards. Lowering the level of mining operations at depth is a key aspect, as it affects extraction timelines and safety.

An important aspect is the annual decrease in the level of mining operations in open-pit mining, which is approximately 7-9 meters, while in underground operations, this figure increases to 12-16 meters.

Reducing the level of mining operations is essential for ensuring stable extraction and the restoration of natural resources. However, this requires specialized technologies and resources.

The depth of iron ore reserve exploitation through underground methods has indeed reached significant values, namely 1200-1400 meters, compared to the depth of open-pit mining, which is about 350-400 meters. These values

indicate the maximum depth to which iron ore deposits are developed depending on the extraction method.

3.5. Challenges of Deep Mining and Efficient Resource Management.

As mining operations go deeper, mining companies face the challenge of precise and efficient planning. Deep mining also leads to increased costs due to the need for powerful equipment and safety measures.

This situation poses a profitability challenge for companies. Planning and optimizing extraction processes at great depths are key tasks for sustainable development and the rational use of resources.

In some mining and beneficiation complexes, the ratio of iron ore overburden volume to production ranges from 0.3 to 1.5 m³ per 1 ton of extracted ore. This affects environmental considerations and demands attention to ecology.

During financial crises, companies reduce the volume of overburden removal, which can limit their development and stability. The availability of ready-to-mine ore reserves for companies is a critical factor for sustainable production and efficient management. Balancing stability and financial performance is crucial for the industry's future development.

3.6. Challenges of Reduced Stripping Volumes and Water Resource Management.

From 2014 to 2021, mining companies witnessed a decrease in activity and increased competition, which required restraining the rise in production costs, particularly through reduced stripping volumes.

The overburden-to-ore ratio was 2.1% in 2014, but it increased to 20.8% in 2015, underscoring the challenges in providing the necessary stripping volumes for stable production.

Reduced stripping adversely affects the resource base and the industry's prospects, necessitating strategic measures to preserve stability and efficiency.

The reduction in mining depth is accompanied by water pumping from deep horizons. This increases geological risks, requiring significant expenditures to ensure safe working conditions and rock stability.

3.7. The Importance of Implementing Advanced Technologies and Reconstruction for the Mining Industry.

Ukrainian mining enterprises face significant challenges, such as increasing depths of ore deposit exploitation and dewatering of deep mines. This prompts them to adopt advanced technologies and undertake facility reconstruction.

Modernization and upgrading of enterprises enhance mining efficiency, reduce costs, and improve product quality. This provides enterprises with a competitive edge and supports their stability in the market.

Flexibility in utilizing cutting-edge technologies helps enterprises adapt to changing conditions and market demands. Increasing production capacity is

crucial for the development of the industry and the Ukrainian economy. Support for the reconstruction and modernization of production is essential for ensuring the sustainable development of mining in the country.

3. Results

4.1. Reasons for the Decrease in Iron Ore Production and Product Deliveries.

The decrease in iron ore production and product deliveries in Ukraine can be attributed to the following key reasons:

1. Market oversaturation: iron ore production exceeds demand, leading to stockpiling. Enterprises limit production and deliveries to avoid oversaturating the market.

2. Low competitiveness: domestic products are not always competitive compared to global manufacturers. Enterprises must reduce costs and improve quality to attract customers.

3. Decreasing global prices: Excessive supply of iron ore products leads to falling prices on the world market, affecting profitability and the ability of enterprises to increase production.

4. Political instability and conflicts: political conflicts and military actions limit the supply and transportation of iron ore, negatively impacting the industry.

These factors collectively affect Ukraine's mining industry, creating challenging conditions for its development and stable operation. Implementing effective strategies and measures can help overcome these challenges and ensure the industry's stable development.

4.2. Challenges and issues in Ukraine's mining industry.

While possessing vast potential in iron ore resources and the capability for extraction and processing, Ukraine's mining industry faces several critical problems requiring immediate resolution to ensure stable and efficient development:

1. Low ore quality: the ore exhibits low quality and necessitates additional expenses for enrichment before further use.

2. Increased depth of mining: continuous deepening of operations complicates extraction and raises costs.

3. High energy consumption: the industry demands significant energy resources, which can impact profitability.

4. Equipment renewal: constant replacement and upgrading of production equipment require investments.

5. Environmental concerns: mining operations can harm the environment.

6. Large volumes of waste: increased extraction leads to the accumulation of substantial waste volumes.

7. Rising transportation costs: deeper development increases transportation expenses for raw materials.

8. High costs of technological equipment and energy: rising equipment and energy resource prices create financial pressure.

9. Low innovation level: the absence of innovative solutions limits development opportunities and process optimization.

Addressing these issues is vital to support the effective growth of Ukraine's mining industry and sustain its competitiveness on the global market. Process optimization, innovative solutions, and a balanced approach to addressing these problems can contribute to the industry's sustainable development and minimize negative impacts.

4.3. Challenges of national significance and their impact on Ukraine's mining sector.

The constant negative pressure of national significance also significantly affects Ukraine's mining sector, putting its effective development at risk. Among the main problems arising from this are the following:

1. Lack of strategy and support: insufficient management and the absence of strategic plans complicate the industry's development.

2. Rising fees and tariffs: increased costs for resource use and product transportation can burden the sector.

3. Inadequate regulatory framework: the absence or obsolescence of laws and regulations complicates sector management.

4. Unfavorable investment climate: lack of investment slows down modernization and sector development.

5. Low scientific support: the absence of a proper scientific base hinders innovation and the development of new technologies.

6. Absence of domestic machinery production: dependence on imported machinery and equipment complicates sector development.

7. Global financial crises: changes in global markets can affect commodity prices and lead to economic difficulties in the sector.

Addressing these issues requires a comprehensive approach and active participation from the state, businesses, and the scientific community to create favorable conditions for the sustainable and efficient development of Ukraine's mining sector.

4.4. Adaptation and innovation: key aspects of the development of the mining sector.

Adaptation and innovation are key aspects of the development of Ukraine's mining sector, especially in the face of market uncertainty and competition. The main aspects of this process include:

1. Strategic review: companies must continually analyze their strategy, taking into account changes in the market and the economy. this may involve

shifting to new types of products, entering new markets, or expanding the geographic scope of sales.

2. Technological innovation: it is crucial to implement modern technologies to increase productivity and reduce costs. this may include automation, using data for decision-making, and adopting more efficient methods of ore extraction and processing.

3. Exploring new markets: decreased domestic demand may require exploring new markets for mining products, including export opportunities.

4. Balance and efficiency: companies should strive to balance their expenses and income, reduce losses and costs to maintain stability and profitability.

5. Promoting innovation: allocating financial resources to research and development of new technologies and approaches can support the innovative development of the industry.

6. Collaboration with research institutions: partnering with research institutions and universities can facilitate the development and implementation of new technologies and solutions.

Adaptation and innovation will help the sector maintain competitiveness and ensure sustainable growth, even in the face of challenges and uncertainty.

4.5. Technological upgrade and investments: key aspects of modernizing the mining sector.

Modernization and the adoption of new technologies will make this industry more efficient, competitive, and resilient to future challenges. Here are key points:

1. Investment in research and development: exploring new technologies and innovations can be a significant step toward modernization. This includes funding scientific research and development efforts aimed at improving mining and ore processing processes.

2. Support for initiatives: governmental and legislative support for initiatives aimed at modernizing the mining sector can incentivize investors and companies to implement new technologies.

3. Improved efficiency: the application of modern technologies can increase productivity and reduce production costs. Efficiency is a crucial factor in ensuring competitiveness.

4. Environmental sustainability: new technologies can help reduce the negative impact on the environment, which is an essential consideration in today's market and regulatory requirements.

5. Training and workforce development: developing and training personnel to work with new technologies is also a crucial component of successful modernization.

In general, it is in Ukraine's best interest, both as a nation and for the mining industry as a whole, to actively pursue technological upgrades and

investments to ensure sustainable development and competitiveness in the global market.

4.6. Prospects and priorities for the development of Ukraine's mining industry.

To ensure sustainable and effective development of Ukraine's mining industry, it is essential to actively address the challenges that put it at a crossroads. This can be achieved through investments in new technologies, scientific research, equipment modernization, and enhancing competitiveness in the global market. Such measures can secure steady and efficient industry growth, preserve its significance for the country's economy, and improve the quality of life for miners.

The priority directions for sustainable and effective long-term development of Ukraine's mining complex, including addressing issues in the Kryvyi Rih iron ore basin, include:

1. Product diversification: in addition to ore enrichment, consider expanding the range of products to include other valuable minerals or higher-value metal production. This can reduce the industry's dependence on fluctuations in the iron ore market.

2. International cooperation: explore opportunities for collaboration with international companies that have experience in modern mining technologies. This can accelerate the adoption of new practices and technologies.

3. Human capital: invest in the training and development of miners and engineers to equip them with the skills required to operate modern equipment and technologies.

4. Safety standards: ensure the highest safety standards for miners and mining processes to prevent accidents and incidents.

5. Green mining initiative: consider launching a green mining initiative that promotes environmentally friendly mining and ore processing practices.

The successful development of the mining industry will have significant implications for Ukraine's economy and social stability. Implementing these measures will help overcome challenges and create conditions for the sustainable and efficient growth of the mining industry in Ukraine, enhancing its competitiveness in the global market.

CONCLUSIONS

The implementation of state support for Ukraine's mining industry to comprehensively address its challenges can be a key factor in ensuring its sustainable and effective development. Introducing the following measures will contribute to resolving pressing issues:

1. State support - a crucial stimulus for the sustainable development of Ukraine's mining sector.

2. The research program for the Kryvyi Rih iron ore basin - a guarantee of safety and stability in extraction.

3. A prospective development strategy - necessary for effective reforms and the industry's sustained growth.

4. Strengthening state regulation - contributes to the fair distribution of resources and income.

5. Joint projects and technical adaptation - enhance resource utilization efficiency.

6. Innovation support - the key to the industry's competitiveness in the global market.

7. Creating a favorable investment climate - ensures the stability and growth of the country's export potential.

These steps share a common goal - the comprehensive resolution of issues in the mining industry, improvement of the resource base, and increased efficiency of resource utilization. It is crucial for government bodies, businesses, and research institutions to collectively direct their efforts towards implementing these measures to achieve the sustainable development of the industry and contribute to the prosperity of the country as a whole.

SUMMARY

The article examines the theoretical foundations of the development of the iron ore complex in Ukraine, with a focus on the Kryvyi Rih iron ore basin. Key issues are identified, such as outdated equipment, insufficient investment, and environmental and social aspects. The author proposes solutions to these problems, including technological improvement, optimization of deposit development, the advancement of scientific research, and attracting investments. The importance of government support for the sustainable development of the industry is discussed, and specific measures are suggested, such as the development of development strategies and programs, ensuring transparent resource allocation, and providing incentives for innovative enterprises. The critical importance of the development of the mining industry for the country's economy and ecology is emphasized. As a result of the research, specific steps are proposed to ensure the sustainable and efficient development of the industry and enhance competitiveness in the international market.

Bibliography

1. Офіційний сайт Державної служби геології та надр України: <https://www.geo.gov.ua/?s=%D0%91%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%96+%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B8+%D0%B7%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0>

%B7%D0%BD%D0%BE%D1%97+%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8
, (Accessed 06 October 2023).

2. Портал даних видобувної галузі України:
<https://www.eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/rudi-zaliza/>,
(Accessed 06 October 2023).

3. Kateryna Babii, Mykhailo Chetveryk, Volodymyr Perehudov, Kostiantyn Kovalov, Ruslan Kiriia, Viacheslav Pshenychnyi (2022) Features of using equipment for in-pit crushing and conveying technology on the open pit walls with complex structure Mining of Mineral Deposits, Volume 16 (2022), Issue 4, 96-102 <https://doi.org/10.33271/mining16.04.096>, (Accessed 06 October 2023).

4. O. Kovrov, K. Babiy, M. Rakishev, A. Kuttybayev (2016) Influence of watering filled-up rock massif on geomechanical stability of the cyclic and progressive technology line Mining of Mineral Deposits Journal homepage Volume 10, Issue 2, pp. 55-63. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.055>, (Accessed 06 October 2023).

5. Офіційний сайт Об'єднання підприємств «Металургпром»:
<https://www.ukrmetprom.org/pidsumki-roboti-gmk-ukraini-za-12-misyaci/>,
(Accessed 06 October 2023).

6. Офіційний сайт GМK Center: <https://gmk.center/ua/news/ukrainskij-gmk-u-2022-roci-eksportuvav-24-mln-t-zaliznoi-rudi/#:~:text=%D0%AF%D0%BA%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D1%8F%D0%B2%20GМK%20Center%2C%20%D0%B7%D0%B0,%E2%80%93%20%D0%B4%D0%BE%20%246%2C9%20%D0%BC%D0%BB%D1%80%D0%B4>,
(Accessed 06 October 2023).

Information about the author:

Romanenko Andrii Oleksandrovyh,

Candidate of Technical Sciences,

Mine Surveyor Engineer of the Rock Movement Monitoring

Private joint-stock company Central Mining and Concentration Plant

Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region, 50066, Ukraine

Також розробка та впровадження стандартів підприємства щодо виконання низки технологічних процесів та охорони праці активно ведеться на гірничодобувних активах Метінвест Холдингу, зокрема, ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське»

Перелік використаних джерел

1. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони / СОУ 10.1-00185790-001:2007, К.: 2007. 114 с.
2. Дегазація вугільних шахт / СОУ 10.1.00174088-001-2004, К.: 2004, 113 с.
3. Управління покрівлею і кріплення в очисних вибоях на вугільних пластах з кутом падіння до 350 / СОУ-П 10.1-00185790-020:2012, Д.: 2012, 150 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-65>

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE DEVELOPMENT OF THE IRON ORE INDUSTRY IN UKRAINE

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Romanenko A.O.

*PhD (Engineering), Mine surveyor
engineer of the rock movement
monitoring, Private joint-stock company
Central Mining and Concentration Plant,
Kryvyi Rih, Ukraine;
student (group 122-23-1M),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Романенко А.О.

*к.т.н., маркшейдер кар'єру
по нагляду за здвигом гірничих порід,
ПРАТ «Центральний гірничо-
збагачувальний комбінат»,
м. Кривий Ріг, Україна;
студент гр. 122-23-1М,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Ukraine achieved the status of a leading producer of iron ore raw materials by February 22, 2022, demonstrating a high level of iron ore production despite technical challenges.

Ukraine possesses a significant raw material base, including magnetite and oxidized quartzites, which are crucial for the mining and metallurgical industry. However, it is essential to use these resources rationally and address

environmental and technological challenges. Technogenic deposits, as part of the raw material base, contain diverse materials for further utilization. Maintaining a balance between extracting valuable minerals and preserving ecosystems is crucial for sustainable development.

According to the State Geological Survey of Ukraine, the total explored balance reserves of iron ore in the country are approximately 20.9 billion tons, indicating a powerful potential for development [1]. Among them, 11 billion tons are ready for exploitation, ensuring the industry's stability for approximately 65 years. Additionally, according to the State Enterprise «Geoinformation of Ukraine» (SE «Geoinform Ukraine») data for the beginning of 2021, the balance reserves of iron ore amounted to 18,065.04 million tons, representing a significant quantity of iron ore resources with considerable potential for further exploration and extraction [2].

Technogenic deposits, such as tailings, are an essential part of the raw material base, containing diverse materials for further utilization. It is crucial to maintain a balance between extracting valuable minerals and preserving ecosystems for sustainable development.

The goal is to identify development priorities and propose measures to improve the situation in the mining industry and enhance the competitiveness of Ukraine's mining complex, taking into account current trends and sustainable development requirements.

Key methods and approaches used for investigating the optimization of production capacities of mining enterprises and ensuring the industry's stable development include research and analysis utilization; innovation and technology; environmental and social responsibility; rational resource use and strategic planning; investments and partnerships; organizational and technical measures; sustainable development and export; challenges of modern mining; difficulties and prospects.

As a result of the conducted research, key factors ensuring sustainable and effective development of the industry have been identified: state support for sustainable development; a research program for the Kryvyi Rih iron ore basin; a strategy for prospective development; strengthened state regulation; joint projects and technical adaptation; support for innovation; a favorable investment climate. These factors aim to comprehensively address the challenges of the mining complex, improve the state of the raw material base, and enhance the efficiency of natural resource utilization. The task is a collaborative implementation of these measures by government bodies, businesses, and research institutions to achieve sustainable development of the industry and support the overall prosperity of the country.

Bibliography

1. Офіційний сайт Державної служби геології та надр України. URL: <https://www.geo.gov.ua/?s=%D0%91%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%96+%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B8+%D0%B7%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D1%97+%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8>, (Accessed 06 October 2023).
2. Портал даних видобувної галузі України. URL: <https://www.eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/rudi-zaliza/>, (Accessed 06 October 2023).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-66>

**PROSPECTIVE WAYS OF INCREASING THE OPERATIONAL
EFFICIENCY OF UKRAINIAN COAL MINES: CASE STUDY
PJSC POKROVSKE COLLIERY**

**ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ ВУГЛЬНИХ ШАХТ УКРАЇНИ,
НА ПРИКЛАДІ ПРАТ Ш/У ПОКРОВСЬКЕ**

Sakhno I.G.

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сахно І.Г.

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Sakhno S.V.

*PhD (Engineering), Associate
Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сахно С.В.

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Енергетична криза в Європі, що викликана війною в Україні, призвела до корінного перегляду концептуальних засад створення енергетичної стабільності в світі. Диверсифікація енергетичних джерел і потоків призвела до зміни логістичних ланок, балансу ресурсів, що продукують електричну енергію. Теплова генерація з «зелених» джерел

TSC-2829253-MIP dated 29.11.2024

CERTIFICATE

mip metinvest
polytechnic***Andrii ROMANENKO****for Participation in the International scientific-technical conference*

MININGMETALTECH 2024 - The mining and metals sector: integration of business, technology and education

November 28–29, 2024*Total: 15 hours – 0.5 ECTS credit*

Oleksandr POVAZHNYI
Doctor of Economics, Professor
Rector of LLC "TECHNICAL UNIVERSITY
"METINVEST POLYTECHNIC"

