

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ
ПОЛІТЕХНІКА»»
Кафедра гірничої справи

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до міждисциплінарного курсового проєкту за освітньо-професійною
програмою «Відкрита розробка родовищ» на тему
«Обґрунтування раціональних параметрів вибухових робіт на
Торчинському родовищі»

Здобувача освіти групи 184В-22-1п: Дзигалюка І.Ю. _____

КЕРІВНИК: к.т.н., доц. Сахно С.В. _____

Кількість балів: _____

Оцінка _____

Запоріжжя 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»»

Кафедра гірничої справи

ЗАВДАННЯ
НА МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ КУРСОВИЙ ПРОЄКТ
ЗДОБУВАЧА БАКАЛАВРСЬКОГО РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ
за освітньою програмою «Відкрита розробка родовищ»

Дзигалюка Івана Юрійовича

1. Тема проекту: Обґрунтування раціональних параметрів вибухових робіт на Торчинському родовищі
2. Строк здачі завершеного проекту: січень 2025 р.
3. Вихідні дані курсового проекту: Проект розроблено на основі Торчинського родовища та 16 джерел згідно теми.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Яким чином геологічна структура Торчинського местородження впливає на вибір оптимальних методів вибухових робіт? У якому порядку слід відпрацювати блоки для максимізації економічної ефективності? Які альтернативні технології вибухових робіт найбільш підходять для розумів Торчинського местородження з урахуванням їх економічної та екологічної ефективності?
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Рисунків 3, Таблиць 6
6. Дата видачі завдання: жовтень 2024 р.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ

ВСТУП

**РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ
ПІДПРИЄМСТВА**

**РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ГІРНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ
ІНФОРМАЦІЇ**

**РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИБУХОВИХ РОБІТ І ЇЇ ПОРІВНЯННЯ З ПОТОЧНОЮ
ТЕХНОЛОГІЄЮ**

**РОЗДІЛ 4 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ
БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ**

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

РЕФЕРАТ

Сторінок 43,	Рисунків 2,	Використаних джерел 16.
Об'єкт дослідження:	Торчинське апатит-ільменітове родовище	
Предмет дослідження:	Гірничо-геологічні умови, технологічні процеси та економічна ефективність розробки Торчинського апатит-ільменітового родовища.	
Мета дослідження:	Обґрунтування оптимальної технології видобутку та переробки руди Торчинського апатит-ільменітового родовища з врахуванням гірничо-геологічних умов та забезпечення максимальної економічної ефективності проекту при дотриманні вимог безпеки та екологічних норм.	
Методи дослідження:	Аналіз геологічної будови, розрахунок параметрів розробки, порівняльний аналіз технологічних процесів, оцінка економічної ефективності, визначення показників безпеки та охорони праці.	
Задачі дослідження	Детальний аналіз гірничо-геологічних умов родовища; Розробка оптимальної технології видобутку руди; Порівняльний аналіз технологій вибухових робіт; Оцінка економічної ефективності проекту; Розробка заходів з охорони праці та техніки безпеки.	
Результати досліджень та їх новизна	Встановлено оптимальну послідовність відпрацювання блоків родовища, проведено детальний аналіз ефективності альтернативних методів вибухових робіт, обґрунтовано комплексний підхід до забезпечення безпечних умов праці та мінімізації негативного впливу на довкілля.	
Ключові слова:	АПАТИТ-ІЛЬМЕНІТОВЕ РОДОВИЩЕ, ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИДОБУТКУ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ, ВИБУХОВІ РОБОТИ, РЕКУЛЬТИВАЦІЯ.	

ВСТУП

Торчинське родовище апатит-ільменітових руд, розташоване у південно-східній частині Володарсько-Волінського масиву, представляє значний інтерес для промислового освоєння завдяки своєму унікальному складу, що включає апатит, ільменіт, ванадій та скандій. Однак складна геологічна будова родовища, наявність водоносних горизонтів та специфічні фізико-механічні властивості руди створюють значні технологічні виклики при його розробці.

Метою даного дослідження є обґрунтування оптимальної технології видобутку та переробки руди Торчинського родовища з урахуванням особливостей його геологічної будови та техніко-економічних параметрів. Для досягнення цієї мети було поставлено низку завдань: аналіз гірничо-геологічних умов родовища; оцінка якісних показників корисної копалини; розробка ефективної системи відкритої розробки з урахуванням блокової структури родовища; порівняльний аналіз технологій вибухових робіт; розрахунок економічної ефективності запропонованих рішень; розробка заходів з охорони праці та безпеки ведення гірничих робіт.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Геологічна будова родовища

Геологічна будова родовища є основою для визначення технології його розробки. Розглянемо приклад Торчинського родовища, яке розташоване в південно-східній частині Володарсько-Волинського масиву основних порід [1]. Родовище характеризується складною тектонічною структурою, де продуктивні горизонти представлені магматичними породами, що містять апатит, ільменіт, ванадій та скандій [4].

Основні геологічні утворення включають:

- ◆ Магматичні породи: діабазы, габро-діабазы;
- ◆ Рудні тіла: переважно лінзи подовженої форми, які залягають на глибині від 50 до 300 метрів.

Досить бідна – позабалансова рудоносність кори вивітрювання у східній низинній частині родовища знаходиться у повній відповідності з відносно небагатими тут на ільменіт материнськими кристалічними породами. Наявність значно багатшої на руду кори на підвищенні – у західній частині родовища, де материнські породи такі ж самі, у рамки стандартних процесів короутворення вже ніяк не вписуються. За результатами аналізу наявних фактичних даних був зроблений висновок що дане родовище сформувалося під впливом гіпергенних процесів, однак і при значному вкладі явищ, пов'язаних з динамічним режимом підземних вод в епоху утворення кори вивітрювання.

Особливістю даного родовища є його вельми контрастна асиметрія: більш продуктивна західна частина, де зосереджені усі блоки промислових категорій, і менш продуктивна східна. Аналіз наявного геологічного матеріалу дозволив дійти до наступних висновків

У західній частині у корі загалом суттєво більші вмісти ільменіту (однак, і менші апатиту). Тут же на заході, та у західному напрямку, спостерігається підвищення, як рельєфу денної поверхні, так і покрівлі кори вивітрювання (рис. 1). Спроба пояснити таку просторову асиметрію кори на родовищі більш багатими на руду корінними породами результатів не дала. Материнські породи скрізь тут практично однакові: і за набором та співвідношенням петротипів, і за б розподілом ільменіту. Як відомо, процеси вивітрювання, відтак і короутворення, підсилюються на схилах підняття (а рельєф тут також асиметричний).

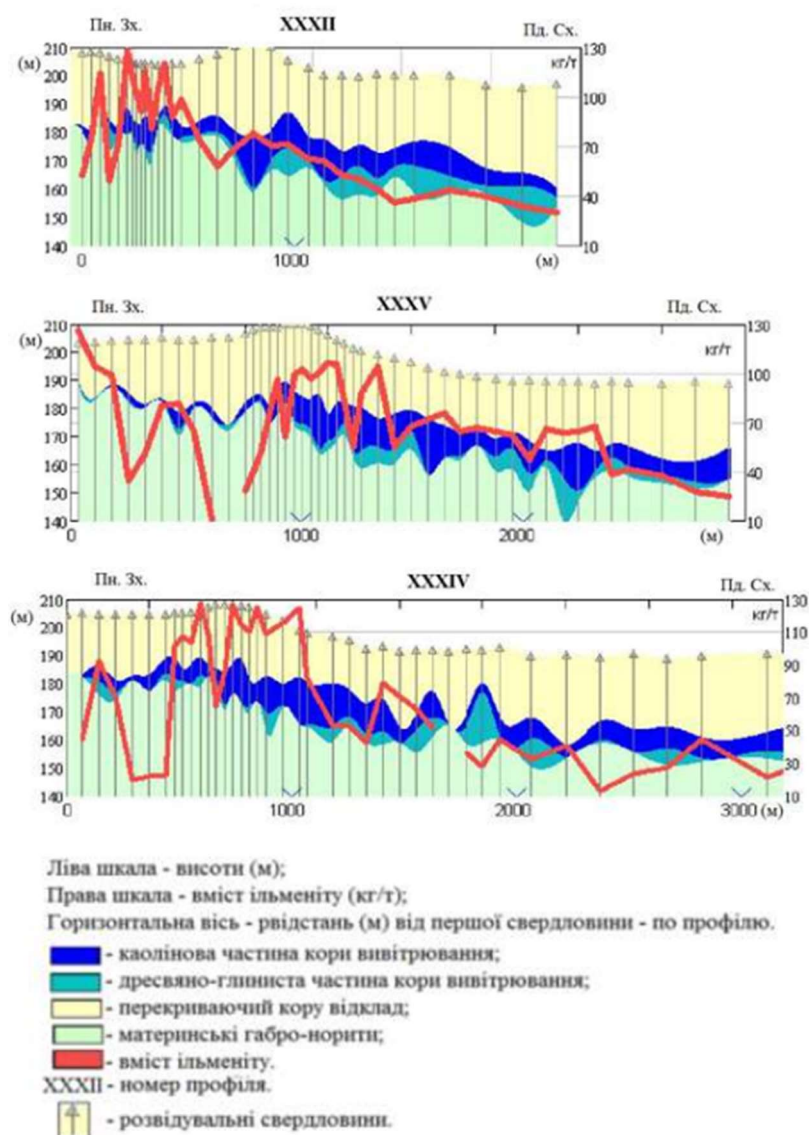


Рисунок 1.1 - Розрізи вхрест простягання Торчинського родовища

Рудні тіла мають неоднорідну структуру, що пов'язано з тріщинуватістю порід. На окремих ділянках спостерігається вторинна мінералізація, яка впливає на якість корисної копалини. Детальне вивчення геологічної будови проводиться з метою визначення просторового розташування рудних тіл, їх потужності та кутів падіння [3].

1.2 Тектоніка

Тектонічні особливості Торчинського родовища визначаються наявністю систем малоамплітудних розривів, які суттєво впливають на структуру рудних тіл [4]. Для аналізу тектонічних умов були проведені масові заміри елементів залягання, що дозволило виявити основні напрямки простягання та падіння порід.

Основні характеристики тектоніки:

- ◆ - Кут падіння: 45–60°.
- ◆ - Напрямок простягання: північно-східний.

Розривні структури мають амплітуду зміщення від 5 до 20 метрів, що ускладнює планування кар'єрного поля. Виявлено три основні тектонічні блоки, які вимагають окремого підходу до розробки.

1.3 Морфологія рудних тіл

Рудні тіла Торчинського родовища мають лінзовидну форму з нерівномірною потужністю. Середня потужність рудного тіла становить 10–15 метрів, однак у окремих ділянках може збільшуватися до 25 метрів [4].

Таблиця 1.1 - Характеристика рудних тіл

Параметр	Значення
Потужність (середня)	10–15 м

Кут падіння	45–60°
Простягання	500–1000 м

Джерело: [4]

Лінзовидні рудні тіла мають витягнуту форму, що зумовлює необхідність застосування спеціальних методів видобутку. У деяких ділянках спостерігається наявність внутрішньорудних порожнин, які знижують загальну щільність порід.

Рудні тіла характеризуються значною тріщинуватістю, що впливає на їх стійкість під час розробки. Для запобігання обваленням необхідно застосовувати підтримуючі конструкції або технології закріплення масиву порід. Рудні тіла мають зональність за вмістом корисних компонентів: центральні частини лінз характеризуються більшою концентрацією цільових мінералів, ніж периферійні.

1.4. Гідрогеологічні умови родовища

Гідрогеологічні умови характеризуються наявністю водоносних горизонтів, які знаходяться на глибині 30–50 метрів. Водоносність порід обумовлена тріщинуватістю та пористістю магматичних порід. Основними джерелами водопостачання є атмосферні опади та підземні води [5].

Водоносні горизонти мають середню проникність, що вимагає застосування дренажних систем. У період весняного підтоплення спостерігається підвищення рівня ґрунтових вод, що ускладнює розробку кар'єру.

1.5 Фізико-механічні властивості руди та розкривних порід

Фізико-механічні властивості руди та розкривних порід є ключовими параметрами для вибору технології видобутку.

Таблиця 1.2 - Характеристика рудних тіл

Параметр	Руда	Розкривні породи
Міцність (кг/см ²)	120–150	80–100
Питома вага (т/м ³)	3,2	2,8
Коефіцієнт розпушення	1,3	1,2

Джерело: складено автором

Руда характеризується високою абразивністю, що вимагає використання зносостійкого обладнання. Розкривні породи мають низьку зчеплюваність, що полегшує їх транспортування.

Міцність руди змінюється залежно від глибини залягання: на поверхні вона менш міцна, а на глибині понад 200 метрів її міцність зростає на 15–20%. Важливим фактором є також здатність руди до самозакріплення під час тривалого зберігання, що потребує оптимізації логістики.

1.6 Розвідка родовища та запаси корисної копалини

Розвідка Торчинського родовища проводилася методами геологічного картування, буріння та геофізичних досліджень [6]. За результатами розвідки було встановлено загальні запаси корисної копалини в межах кар'єрного поля, які становлять 50 млн тонн.



Рисунок 1.2 Розподіл запасів корисної копалини: Категорія А: Детально вивчені запаси; Категорія В: Розвідані запаси; Категорія С: Прогнозовані, т.

Розвідка проводиться у два етапи: попередній (буріння свердловин) та детальний (комплексні геофізичні дослідження). У процесі розвідки виявляють додаткові ділянки з підвищеним вмістом цільових компонентів.

Запаси руди були класифіковані за категоріями: категорія А (детально вивчені запаси), категорія В (розвідані запаси) та категорія С (прогнозовані запаси). Найбільша частка запасів (60%) належить до категорії В3. Для оцінки точності розвідки проводять контрольне буріння, яке підтверджує високу надійність даних про потужність та якість рудних тіл. Частина запасів знаходиться на глибині понад 300 метрів, що потребує переходу до підземної розробки в майбутньому.

1.7 Якісні та технологічні властивості корисної копалини

Корисна копалина Торчинського родовища характеризується високим вмістом апатиту (до 30%) та ільменіту (до 15%). Додатково можливе видобування ванадію та скандію, що робить родовище перспективним для комплексного освоєння [4].

Таблиця 1.3 - Якісні показники корисної копалини

Компонент	Вміст (%)
Апатит	25–30
Ільменіт	10–15
Ванадій	0,5–1,0
Скандій	0,01–0,02

Джерело: складено автором

Вміст домішок у руді не перевищує 5%, що забезпечує високу якість концентрату. Технологічні випробування показують, що руда добре піддається флотації та магнітному збагаченню.

Апатит можна виділити з високою ефективністю (вище 90%) за допомогою комбінованого методу флотації та термічної обробки. Ільменіт характеризується високою магнітною сприйнятливістю, що дозволяє використовувати сепарацію для його виділення. Ванадій та скандій зосереджені у вторинні мінерали, що потребує додаткових методів екстракції, таких як хімічна обробка. Для оптимізації технологічного процесу проводять моделювання збагачення руди, за якого, найбільш економічно вигідним є комбінований підхід із застосуванням механічних та хімічних методів.

Умови Торчинського родовища показують що воно має значний потенціал для промислового освоєння. Однак складна тектоніка та наявність водоносних горизонтів вимагають детального планування розробки.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ГІРНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Гірничо-технологічні умови розробки Торчинського родовища апатит-ільменітових руд, яке знаходиться в південно-східній ендоконтактовій зоні Володарського масиву габро-анортозитів Коростенського плутону.

Продуктивність кар'єру визначається за кількістю видобутої руди та обсягом розкривних порід. Для Торчинського родовища передбачаються такі показники:

Річна виробнича потужність:

- За розкривними породами: до 3 млн м³;
- За гірською масою в цілому: до 5 млн м³.

Місячна продуктивність:

- Руда: 200–250 тис. Т;
- Розкривні породи: 250–300 тис. м³.

Добова продуктивність:

- Руда: 8–10 тис. Т;
- Розкривні породи: 10–12 тис. м³.

Змінна продуктивність:

- Руда: 4–5 тис. Т;
- Розкривні породи: 5–6 тис. м³.

Ці показники враховують особливості структури родовища, де найвищі концентрації ільменіту спостерігаються в західній частині, що визначає порядок відпрацювання блоків.

Технологічний процес розробки Торчинського местородження включає комплекс взаємопов'язаних операцій, спрямованих на добування корисної копалини та її первинну переробку. Основними етапами є:

1. Підготовка гірничої маси (буріння, вибухові роботи) ;
2. Вибирало-навантажувальні роботи ;
3. Транспортування руди та розкривних порід ;
4. Збагачення корисної копалини ;

5. Складування продукції.

Схема розкриття родовища базується на послідовному проходженні окремих невеликих блоків замість запропонованої раніше проходки єдиного великого кар'єру загальною площею близько 10 км². Цей підхід дозволяє:

- Зменшити термін окупності проекту.
- Мінімізувати екологічні наслідки (формування великих депресивних лійок, зниження рівня водоносних горизонтів до 10 м та відповідного осушення ґрунтів).
- Забезпечити паралельну рекультивацію відпрацьованих ділянок.

Видобуток руди здійснюється за блочною схемою розробки: Родовище розділене на 3 основні блоки (325, 367, 371); Пріоритетна розробка найбільш збагачених ділянок; Паралельна рекультивація відпрацьованих ділянок.

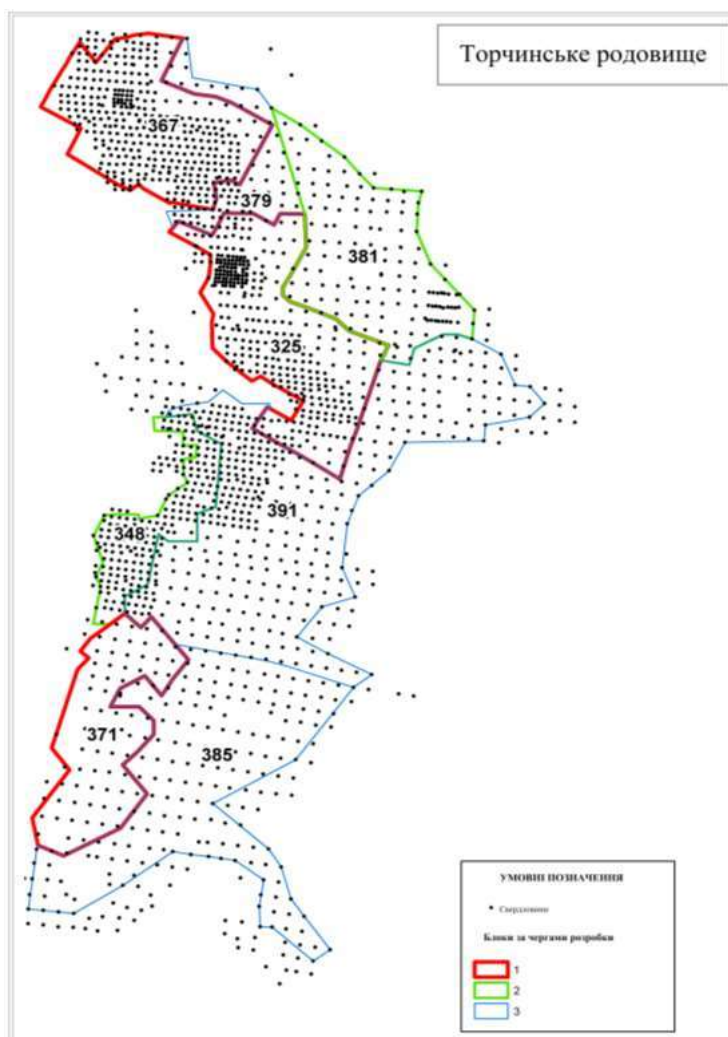


Рисунок 2.1 - Схема розташування блоків на Торчинському родовищі

Порядок відпрацювання родовища. Видобуток планується здійснювати в декілька черг:

1. Перша черга: Блоки 325, 367, 371 у західній частині родовища, де концентрація ільменіту є максимальною (1621–3843 кг/м²).

2. Наступні черги: Послідовне відпрацювання східних блоків з меншими концентраціями ільменіту (100–300 кг/м²).

Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати та підвищити рентабельність проекту.

Таблиця 2.1 - Характеристика найбільш перспективних блоків

Характеристика блоку	Блок 325	Блок 371	Блок 367
Об'єм руди, м ³	16,248,601	10,012,924.05	10,401,977.82
Об'єм розкриву, м ³	24,662,838	6,686,318.429	11,773,423.4
Запаси ільменітового концентрату, кг	1,860,000,000	1,002,178,620	1,069,298,356
Локальна продуктивність, кг/м ²	3843	2800	3200
Потужність розкриву, м	16,7	14,5	15,8
Вміст ільменіту, %	2,3	2,1	2,2

Джерело: [7]

Параметри елементів систем розробки. Основні параметри систем розробки включають:

- Глибина кар'єру: до 38,7 м.
- Потужність розкриву: від перших десятків сантиметрів до 38,7 м.
- Проектна глибина: до 38,7 м
- Площа кар'єрного поля: близько 10 км²
- Кількість черг розробки: 3 основні
- Загальний обсяг розкривних робіт: понад 40 млн м³
- Площа впливу депресивної воронки: до 616 000 м².
- Водоприплив: до 5016 м³/добу [7].

Техніка для очисних робіт. Для видобутку та збагачення руди використовуються наступні види техніки:

Бурове обладнання:

- Бурові верстати марки СБШ-250;
- Пересувні компресорні станції .

Вибухове обладнання:

- Електродетонатори ;
- Невибухова з'єднувальна серія ;
- Амоніт №6 ЖВ.

Навантажувально-транспортне обладнання:

- Екскаватори Hyundai ЕШ-10/70 та ЕШ-6.5/45;
- Автосамоскиди вантажопідйомністю 40-60 т.

Кар'єрний транспорт. Транспортування руди та розкривних порід здійснюється за допомогою автосамоскидів вантажопідйомністю 40–60 т. Для зменшення впливу на довкілля передбачається використання внутрішньокар'єрних доріг з поліпшеним покриттям.

Система водовідливу. Для забезпечення нормальних умов роботи передбачена система водовідливу: Загальна продуктивність насосів: 35 л/сек; Глибині водоносних горизонтів: 30-50 м; Середній водоприток: до 5016 м³/добу.

Транспортна система. Транспортна система включає: Внутрішньокар'єрні дороги загальною протяжністю 15 км; Зовнішні транспортні комунікації Складські майданчики для зберігання продукції.

Система контролю якості. Для забезпечення якості продукції впроваджено систему контролю: Лабораторний контроль; Автоматизовані системи моніторингу; Регулярне геологічне опробування.

Енергозабезпечення. Система енергозабезпечення включає: Електропідстанції загальною потужністю 5 МВт; Резервні джерела живлення; Система освітлення кар'єру.

Система зв'язку. Для координації робіт функціонує система зв'язку: Радіозв'язок; Стільниковий зв'язок; Диспетчерська служба.

Основні техніко-економічні показники: Річна продуктивність: 2-2,5 млн т руди Обсяг розкривних робіт: до 3 млн. м³ Середні витрати на розкрив: 5 \$/м³ Витрати на переробку: 10 \$/м³

Детальний аналіз технологічних процесів. У процесі збагачення руда розділяється на зернисту частину і шлами. Зерниста частина руди складається з ільменіту, апатиту, титаномагнетиту, не повністю вивітрілих польових шпатів, кварцу, піроксену, біотиту, гідроокису заліза тощо. У шламах переважають глинисті мінерали – каолінит, гідрослюди, монтморилоніт, хлорит, нонтроніт і мінерали дрібнозернистої частини руди з розміром частинок менше 0,03 мм [7].

Застосування розробленої схеми збагачення дозволяє рентабельно отримувати ільменітовий концентрат (після подрібнення до 0,2 мм та електричної сепарації). Також можливе отримання апатитового концентрату (після флотації). Встановлено доцільність широкого комплексного використання руд Торчинського родовища, окрім традиційних ільменітового й апатитового концентратів, вигідно буде вилучати з ільменіту супутні рідкісні цінні компоненти – скандій і ванадій.

Економічна оцінка. На основі створеної відкритих даних про модель Торчинського залишкового родовища апатит-ільменітових руд можна зробити висновок про його рентабельність, перспективність та зменшений термін окупності, що підтверджується довідкою про провадження компанією «Титан Апатитова Група». Згідно з розрахунками, рентабельність проекту зростає майже в три рази з 8% до 30%, а термін окупності скорочується з 12 до 3 років [].

Для розрахунку показника ефективності розробки Торчинського родовища апатит-ільменітових руд, використовується формула, яка враховує основні економічні та геологічні параметри. У документі зазначено, що інтегральний показник ефективності розраховується як різниця між умовною вартістю

ільменітового концентрату та витратами на виконання розкривних робіт та переробку продуктивного пласта. Формула має такий вигляд:

$$I = V * C - (R + P)$$

де: I – інтегральний показник ефективності;

V — обсяг видобутої руди (м³);

C - вартість одиниці ільменітового концентрату (\$ за 1 т);

R - витрати на розкривні роботи (\$);

P - Витрати на переробку руди (\$).

Витрати на розкривні роботи становлять 5\$ за 1 м³, а витрати на переробку руди — 10\$ за 1 м³.

Розрахуємо інтегральний показник для кожного блоку окремо, згідно з даними з таблиці 2.1 трьох блоків (325, 371, 367), які є найбільш перспективними для розробки:

Блок 325:

$$V = 16248601 \text{ м}^3;$$

$$C = 150 \text{ \$/т};$$

$$R = 24662838 \text{ м}^3 * \text{витрати на 1 м}^3 \text{ розкриву} = 24662838 * 5 = 123314190\$;$$

$$P = \text{витрати на переробку 1 м}^3 \text{ руди} = 16248601 * 10 = 162486010\$;$$

$$I = (1860000000 \text{ кг} * 0.15 \text{ \$/кг}) - (123314190 + 162486010) = 279000000 - 285800200 = -6800200 \text{ \$/} - 272008000 \text{ грн.}$$

Блок 371:

$$V = 10012924.05 \text{ м}^3;$$

$$C = 150 \text{ \$/т};$$

$$R = 6,686,318.429 * 5 = 33431592.15\$;$$

$$P = 10012924.05 * 10 = 100129240.5\$;$$

$$I = (1002178620 \text{ кг} * 0.15 \text{ \$/кг}) - (33431592.15 + 100129240.5) = 150326793 - 133560832.65 = 16765960.35 \text{ \$/} 670638414 \text{ грн.}$$

Блок 367:

$$V = 10401977.82 \text{ м}^3;$$

$$C = 150 \text{ \$/т};$$

$$R = 11773423.4 * 5 = 58867117\$;$$

$$P = 10401977.82 * 10 = 104019778.2\$;$$

$$I = (1069298356 \text{ кг} * 0.15 \$/\text{кг}) - (58867117 + 104019778.2) \\ = 160394753.4 - 162,886895.2 = -2,492,141.8 \$/-99685672 \text{ грн.}$$

Інтегральний показник для блоку 325: -272,008,000 грн. (нерентабельно).
 Інтегральний показник для блоку 371: +670,638,414 грн. (рентабельно).
 Інтегральний показник для блоку 367: -99,685,672 грн. (нерентабельно). Отже, найперспективнішим для розробки залишається блок 371, інтегральний показник якого становить +670,638,414 грн.

Екологічні аспекти Екологічний вплив на оточуюче середовище мінімальний. Депресивні лійки, які мають суттєвий вплив на ландшафти та якість життя населення, не виходять за межі 500-метрового радіусу впливу та існують на територіях не довше року. Їх переміщення пов'язане з тим, що рекультивация кар'єрів відбувається паралельно з видобутком.

=

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИБУХОВИХ РОБІТ І ЇЇ ПОРІВНЯННЯ З ПОТОЧНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

3.1 Аналіз продуктивності поточного та альтернативних методів вибухових робіт

Вибухові роботи є одними із найнебезпечніших та основоположних типів робіт на Торчинському родовищі. Пропонується проаналізувати вибухові роботи на Торчинському родовищі та розробити альтернативні моделі робіт.

Поточна технологія амоніт:

1. Розрахунок маси заряду для вибухівки:

Маса заряду Q визначається за формулою:

$$Q = q \cdot V, \quad (3.1)$$

де: q — питома витрата ВР (вибухова речовина) на одиницю об'єму породи, кг/м³;

V — обсяг породи, що руйнується, м³.

Для Торчинського родовища:

Питома витрата ВР для розпушування вивітрювання кори: $q=0.3$ кг/м³ (Типове значення для аналогічних порід);

Об'єм породи, що руйнується: $V=1000$ м³ (Зразковий обсяг для одного блоку).

$$Q = 0.3 \cdot 1000 = 300 \text{ кг.}$$

Маса заряду становить 300 кг.

2. Визначення відстані між шпурами:

Відстань між шпурами a розраховується за такою формулою:

$$a = m \cdot W, \quad (3.2)$$

де: m - коефіцієнт зближення зарядів (зазвичай $m = 1.0-1.5$);

W - лінія опору по подошві, м.м.

Для Торчинського родовища: Коефіцієнт зближення: $m = 1.2$;

Лінія опору: $W = 3$ м (типове значення для кор вивітрювання).

$$a = 1.2 \cdot 3 = 3.6 \text{ м.}$$

Відстань між шпурами становить 3.6 м .

3. Розрахунок обсягу продуктів вибуху:

Об'єм продуктів вибуху $V_{\text{прод}}$ визначається за формулою:

$$V_{\text{прод}} = \frac{Q}{\rho_{\text{ВВ}}} * K_{\text{газ}}, \quad (3.3)$$

де: Q - маса заряду, кг;

$\rho_{\text{ВВ}}$ - Щільність ВР, кг/м³ ($\rho_{\text{ВВ}} = 1200 \text{ кг/м}^3$ для амоніту);

K газ - Коефіцієнт газоутворення (K газ = 800л/кг).

$$V_{\text{прод}} = 300 / 1200 * 800 = 200 \text{ м}^3$$

Об'єм продуктів вибуху становить 200 м³

4. Оцінка потужності вибуху:

Потужність вибуху E розраховується за такою формулою:

$$E = Q * H, \quad (3.4)$$

де: Q - маса заряду, кг;

H - теплота вибуху ВР, кДж/кг (H=4200кДж/кг для амоніту).

$$E = 300 * 4200 = 1,260,000 \text{ кДж.}$$

Потужність вибуху становить 1,260,000 кДж.

5. Розрахунок тиску детонації:

Тиск детонації $P_{\text{дет}}$ визначається за формулою:

$$P_{\text{дет}} = K_p * \rho_{\text{ВВ}} * D^2, \quad (3.5)$$

де: K_p - Коефіцієнт пропорційності ($K_p = 0.5$);

$\rho_{\text{ВВ}}$ - Щільність ВР, кг/м³;

D – швидкість детонації, м/с (D=3500м/с для амоніту).

$$P_{\text{дет}} = 0.5 * 1200 * 3500^2 = 7350000000 \text{ Па.}$$

Тиск детонації становить 7350000000 Па.

6. Оцінка ефективності розпушування породи:

Ефективність розпушування визначається за формулою (η):

$$\eta = \frac{V_p}{V_{\text{теор}}}, \quad (3.6)$$

де: V_p - фактичний обсяг зруйнованої породи, м³;

$V_{\text{теор}}$ - Теоретичний обсяг руйнування, м³.

Для Торчинського родовища: Фактичний обсяг: $V_p = 900\text{м}^3$; Теоретичний обсяг: $V_{\text{теор}} = 1000\text{м}^3$.

$$\eta = 900/1000 = 0,9 \text{ або } 90\%$$

Ефективність розпушування становить 90%.

7. Розрахунок радіусу зони руйнування:

Радіус зони руйнування R_p визначається за формулою:

$$R_p = K_r * \sqrt[3]{Q}, \quad (3.7)$$

де: K_r - Коефіцієнт руйнування ($K_r = 10$ для кор вивітрювання);

Q – маса заряду, кг.

$$R_p = 10 * \sqrt[3]{300} \approx 10 * 6,7 = 67 \text{ м}$$

Радіус зони руйнування становить 67 м.

8. Оцінка втрат енергії під час вибуху:

Втрати енергії ΔE визначаються за такою формулою:

$$\Delta E = E * (1 - \eta), \quad (3.8)$$

де: E - потужність вибуху, кДж;

η - ефективність розпушування.

$$\Delta E = 1,260,000 * (1 - 0.9) = 126000 \text{ кДж.}$$

Втрати енергії становлять 126,000 кДж.

9. Розрахунок інтегрального показника ефективності вибуху:

Інтегральний показник I розраховується за такою формулою:

$$I = Q/V_p, \quad (3.9)$$

де: V_p - Об'єм зруйнованої породи, м³;

Q – маса заряду, кг.

$$I = 900/300 = 3 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Інтегральний показник ефективності вибуху становить 3 м³/кг.

10. Оцінка екологічного впливу:

Екологічний вплив оцінюється за такими факторами:

Забруднення повітря : Викид пилу та газів (CO_2 , NO_x) залежить від маси заряду. Для $Q=300\text{кг}$, викиди становитимуть близько 100 кг забруднюючих речовин.

Шумовий вплив: Рівень шуму на відстані 500 м не перевищує 80 дБ.

Сейсмічна дія: Радіус сейсмічного впливу $R_{\text{сейсм}} = 1.5 * R_p = 1.5 * 67 = 100.5$ м.

Альтернативні варіанти: використання емульсійних вибухових речовин; комбінований заряд (аммоніт+скраплений газ); використання мікрохвильової активації перед вибухом.

Альтернатива 1: Використання емульсійних вибухових речовин (ЕВР).

Емульсійні вибухові речовини (ЕВР) - це водомісткі вибухові склади, які складаються з окислювача (наприклад, нітрату амонію) та пального компонента (наприклад, олії). Вони безпечні у користуванні, екологічно менш шкідливі і мають високу щільність заряджання.

Питома теплота вибуху (Н): 3500кДж/кг (нижче ніж амоніту);

Щільність ВР ($\rho_{\text{ВВ}}$): 1300кг/м^3 ;

Коефіцієнт газоутворення ($K_{\text{газ}}$): 700л/кг .

- Маса заряду для вибуху: $Q=q*V=0.3*1000=300\text{кг}$. Маса заряду залишається такою самою, оскільки обсяг породи не змінився.

- Об'єм продуктів вибуху: $V_{\text{прод}} = Q/\rho_{\text{ВВ}}*K_{\text{газ}} = 300/1300*700 \approx 161.5\text{м}^3$. Об'єм продуктів вибуху менший, ніж при використанні амоніту (200м^3).

- Потужність вибуху: $E = Q*N = 300*3500 = 1050000$ кДж. Потужність вибуху нижче (1050000 кДж проти 1260000 кДж).

- Тиск детонації: $P_{\text{дет}} = K_p * \rho_{\text{ВВ}} * D^2 = 0.5 * 1300 * 3000^2 = 5850000000$ Па. Тиск детонації нижче (5850000000 Па проти 7350000000 Па).

- Екологічний вплив: ЕВР менш токсичні, що знижує забруднення повітря та ґрунту.

Альтернатива 2: Комбінований заряд (аммоніт + скраплений газ).

Комбінований заряд використовує суміш традиційного амоніту та зрідженого газу (наприклад, пропану або метану). Газ збільшує обсяг продуктів вибуху та знижує питому витрату ВР.

Питома теплота вибуху (Н): 4500кДж/кг (вище з допомогою додавання газу).

Щільність ВР ($\rho_{ВВ}$): 1100кг/м³ (менше через газ).

Коефіцієнт газоутворення ($K_{газ}$): 1000л/кг.

- Маса заряду для вибуху: $Q = q \cdot V = 0.25 \cdot 1000 = 250$ кг. Питома витрата знижується до 0.25 кг/м³ що зменшує масу заряду.

- Об'єм продуктів вибуху: $V_{прод} = Q / \rho_{ВВ} \cdot K_{газ} = 250 / 1100 \cdot 1000 \approx 227.3$ м³. Об'єм продуктів вибуху вищий (227.3м³ проти 200м³).

- Потужність вибуху: $E = Q \cdot H = 250 \cdot 4500 = 1125000$ кДж. Потужність вибуху вища (1125000 кДж проти 1260000 кДж).

- Тиск детонації: $P_{дет} = K_p \cdot \rho_{ВВ} \cdot D^2 = 0.5 \cdot 1100 \cdot 3500^2 = 6737500000$ Па. Тиск детонації нижче (6737500000 Па проти 7350000000 Па).

- Екологічний вплив: Зріджений газ збільшує викиди вуглекислого газу, але знижує використання твердих ВР.

Альтернатива 3: Використання мікрохвильової активації перед вибухом.

Мікрохвильова активація – це технологія попереднього нагріву породи мікрохвилями перед вибухом. Це знижує міцність породи та зменшує необхідність у великих зарядах ВР.

Питома теплота вибуху (Н): 4200кДж/кг (не змінюється).

Щільність ВР ($\rho_{ВВ}$): 1200кг/м³.

Коефіцієнт газоутворення ($K_{газ}$): 800л/кг.

- Маса заряду для вибуху: $Q = q \cdot V = 0.2 \cdot 1000 = 200$ кг. Питома витрата знижується до 0.2 кг/м³ що значно зменшує масу заряду.

- Об'єм продуктів вибуху: $V_{прод} = Q / \rho_{ВВ} \cdot K_{газ} = 200 / 1200 \cdot 800 \approx 133.3$ м³. Об'єм продуктів вибуху нижче (133.3м³ проти 200м³).

- Потужність вибуху: $E = Q \cdot H = 200 \cdot 4200 = 840000$ кДж. Потужність вибуху нижче (840000 кДж проти 1260000 кДж).

- Тиск детонації: $P_{\text{дет}} = K_p \cdot \rho_{\text{ВВ}} \cdot D^2 = 0.5 \cdot 1200 \cdot 3500^2 = 7350000000$ Па. Тиск детонації не змінюється.
- Екологічний вплив: Мікрохвильова активація потребує енергії, але знижує використання ВР, що зменшує забруднення.

Таблиця 3.1 - Порівняння розрахункових параметрів поточного методу с альтернативними

Параметер	Амоніт	Емульсійна вибухова речовина	Комбінований заряд (амоніт+газ)	Мікрохвильова активація
Маса заряду для вибуху (Q)	300 кг	300 кг	250 кг	200 кг
Об'єм продуктів вибуху ($V_{\text{прод}}$)	200 м ³	161.5 м ³	227.3 м ³	133.3 м ³
Потужність вибуху (E)	1260000 кДж	1050000 кДж	1125000 кДж	840000 кДж
Тиск детонації ($P_{\text{дет}}$)	7350000000 Па	5850000000 Па	6737500000 Па	7350000,000 Па
Екологічний вплив	Середнє	Низьке	Високі виброси CO ₂	Низьке

Джерело: складено автором

ЕВР: Підходить для екологічно чутливих територій, але має меншу потужність вибуху. Комбінований заряд : Збільшує ефективність вибуху, але може бути небезпечним для навколишнього середовища. Мікрохвильова активація: Найбільш економічна, але потребує додаткових енергетичних витрат. Вибір технології залежить від пріоритетів: екологічна безпека, економічна ефективність чи технічна продуктивність.

3.2 Аналіз економічної ефективності поточного та альтернативних методів вибухових робіт

Порівняння економічної ефективності поточного метода з альтернативними:

Вартість вибухових речовин (€/кг): Аммоніт: €60/кг; Емульсійна вибухова речовина (ЕВР): €80/кг; Комбінований заряд (амоніт + газ): €50/кг; Мікрохвильова активація: €100/кг. Коефіцієнт витрати ВР: 0.3 кг/м³.

Площа блоків (га): Блок 325: 116.2 га; Блок 371: 83.1 га; Блок 367: 104.8 га.
 Об'єм розкриву (м³) : Блок 325: 24662838 м³; Блок 371: 6686318 м³; Блок 367: 11773423 м³.

Додаткові витрати: Матеріали для ініціювання: €20/кг; Інші витрати: 10% від вартості вибухівки. Заробітна платня 150 грн/год.

Зумовлено для спрощення розрахунків показників, що об'єм розкриву блоку розрахований на рік.

Графік: 24 робочих дні на місяць; 3 зміни; 8 годин зміна; 288 робочих днів на рік.

Блок 325:

1. Об'єм розкриву

Об'єм розкриву за день розраховується за формулою:

$$\text{Об'єм за день} = \text{Загальний об'єм} / \text{Річний фонд робочого часу}, \quad (3.9)$$

$$\text{Об'єм за день} = 24662838 / 288 = 85635 \text{ м}^3/\text{день}$$

Об'єм розкриву за місяць розраховується за формулою:

$$\text{Об'єм за місяць} = \text{Об'єм за день} * 24, \quad (3.10)$$

$$\text{Об'єм за місяць} = 85635 * 24 = 2055240 \text{ м}^3/\text{місяць}$$

2. Маса ВР

$$\text{Маса ВР} = \text{Об'єм розкриву} * \text{Коефіцієнт витрати ВР}, \quad (3.11)$$

$$\text{Маса ВР (день)} = 85635 * 0.3 = 25690 \text{ кг/день}$$

$$\text{Маса ВР (місяць)} = 25690 * 24 = 616560 \text{ кг/міс}$$

$$\text{Маса ВР (рік)} = 616560 * 12 = 7398720 \text{ кг/рік}$$

3. Вартість ВР

Вартість ВР, розраховується за формулою:

$$\text{Вартість ВР} = \text{Маса ВР} * \text{Ціна ВР}, \quad (3.12)$$

Вартість ВР на день:

- Амоніт. Вартість ВР = 25690 * 60 = 1541400 грн/день;
- ЕВР. Вартість ВР = 25690 * 80 = 2055200 грн/день;
- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = 25690 * 50 = 1284500

грн/день;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $25690 \cdot 100 = 2569046$

грн/день

Вартість ВР на місяць:

- Амоніт. Вартість ВР = $1541427 \cdot 24 = 36994257$ грн/міс;
- ЕВР. Вартість ВР = $2055237 \cdot 24 = 49325676$ грн/міс;
- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = $1284523 \cdot 24 = 30828548$

грн/міс;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $2569046 \cdot 24 = 61657095$

грн/міс.

Вартість ВР на рік:

- Амоніт. Вартість ВР = $36994257 \cdot 12 = 443931084$ грн/рік;
- ЕВР. Вартість ВР = $49325676 \cdot 12 = 591908112$ грн/рік;
- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = $30828548 \cdot 12 =$

369942570 грн/рік;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $61657095 \cdot 12 =$

739885140 грн/рік.

4. Підсумкові витрати:

- Амоніт: Вартість ВР: 1541460 грн/день;

Матеріали для ініціювання: $25691 \cdot 20 = 513820$ грн/день

Заробітня платня, день: $150 \cdot 8 \cdot 3 = 3600$ грн/день.

Інші витрати: $0.1 \cdot 1541460 = 154146$ грн/день

Підсумкові витрати за день:

$$\text{Підсумкові витрати} = \text{Вартість ВР} + \text{Додаткові витрати}, \quad (3.13)$$

$$\text{Підсумкові витрати} = 1541427 + 513820 + 154143 + 3600 = 2212979 \text{ грн/день}$$

Підсумкові витрати за місяць:

$$\text{Підсумкові витрати, міс} = \text{Підсумкові витрати за день} \cdot 24, \quad (3.14)$$

$$\text{Підсумкові витрати, міс} = 2212979 \cdot 24 = 53111502 \text{ грн/місяць}$$

Підсумкові витрати за рік:

$$\text{Підсумкові витрати, рік} = \text{Підсумкові витрати за місяць} \cdot 12, \quad (3.15)$$

$$\text{Підсумкові витрати, рік} = 53111502 \cdot 12 = 637338020 \text{ грн/рік}$$

- ЕВР: Вартість ВР: 2055237 грн/день;

Інші витрати: $0.1 * 2055237 = 205524$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $2055237 + 513820 + 205524 + 3600 = 2778169$ грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $2778169 * 24 = 66676063$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $66676063 * 12 = 800112751$ грн/рік

- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР: 1284523 грн/день

Інші витрати: $0.1 * 1284523 = 128452$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $1284523 + 513820 + 128452 + 3600 = 1930384$ грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $1930384 * 24 = 46329221$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $46329221 * 12 = 555950655$ грн/рік

- Мікрохвильова активація: Вартість ВР: 2569046 грн/день;

Інші витрати: $0.1 * 2569046 = 256905$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $2569046 + 513820 + 256905 + 3600 = 3343359$ грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $3343359 * 24 = 80240624$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $80240624 * 12 = 962887482$ грн/рік

Блок 371:

1. Об'єм розкриву

Об'єм за день = $6686318 / 288 = 23216.4$ м³/день

Об'єм за місяць = $23216.4 * 24 = 557193.2$ м³/місяць

2. Маса ВР

Маса ВР (день) = $23216.4 * 0.3 = 6964,9$ кг/день

Маса ВР (місяць) = $6964.9 * 24 = 167158$ кг/міс

Маса ВР (рік) = $167158 * 12 = 2005895.4$ кг/рік

3. Вартість ВР

Вартість ВР на день:

- Амоніт. Вартість ВР = $6964,9 * 60 = 417894,9$ грн/день;
- ЕВР. Вартість ВР = $6964,9 * 80 = 557193,2$ грн/день;

- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = $6964,9 * 50 = 348245,7$ грн/день;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $6964,9 * 100 = 696491,5$ грн/день

Вартість ВР на місяць:

- Амоніт. Вартість ВР = $417894,9 * 24 = 10029477$ грн/міс;
- ЕВР. Вартість ВР = $557193,2 * 24 = 13372636$ грн/міс;
- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = $348245,7 * 24 = 8357897,5$ грн/міс;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $696491,5 * 24 = 16715795$ грн/міс.

Вартість ВР на рік:

- Амоніт. Вартість ВР = $10029477 * 12 = 120353724$ грн/рік;
- ЕВР. Вартість ВР = $13372636 * 12 = 160471632$ грн/рік;
- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = $8357897,5 * 12 = 100294770$ грн/рік;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $16715795 * 12 = 200589540$ грн/рік.

4. Підсумкові витрати:

- Амоніт: Вартість ВР: $417894,9$ грн/день;

Матеріали для ініціювання: $6964,9 * 20 = 139298,3$ грн/день

Заробітня платня, день: $150 * 8 * 3 = 3600$ грн/день.

Інші витрати: $0.1 * 417894,9 = 41789,5$ грн/день

Підсумкові витрати за день:

Підсумкові витрати = Вартість ВР + Додаткові витрати, (3.13)

Підсумкові витрати за день = $417894,9 + 139298,3 + 41789,5 + 3600 = 602582,7$ грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $602582,7 * 24 = 14461983,7$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $14461983,7 * 12 = 173543804,4$ грн/рік

- ЕВР: Вартість ВР: $557193,2$ грн/день;

Інші витрати: $0.1 * 557193,2 = 55719,3$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $557193,2 + 139298,3 + 55719,3 + 3600 = 755810,8$ грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $755810,8 * 24 = 18139458,6$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $18139458,6 * 12 = 217673503,2$ грн/рік

- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР: 348245,7 грн/день

Інші витрати: $0.1 * 348245,7 = 34824,6$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $348245,7 + 139298,3 + 34824,6 + 3600 = 525968,6$ грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $525968,6 * 24 = 12623246,3$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $12623246,3 * 12 = 151478955$ грн/рік

- Мікрохвильова активація: Вартість ВР: 696491,5 грн/день;

Інші витрати: $0.1 * 696491,5 = 69649,2$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $696491,5 + 139298,3 + 69649,2 + 3600 = 909038,9$ грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $909038,9 * 24 = 21816933,5$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $21816933,5 * 12 = 261803202$ грн/рік

Блок 367:

1. Об'єм розкриву

Об'єм за день = $11773423 / 288 = 40880$ м³/день

Об'єм за місяць = $40880 * 24 = 981119$ м³/місяць

2. Маса ВР

Маса ВР (день) = $40880 * 0.3 = 12264$ кг/день

Маса ВР (місяць) = $12264 * 24 = 294336$ кг/міс

Маса ВР (рік) = $294336 * 12 = 3532027$ кг/рік

3. Вартість ВР

Вартість ВР на день:

- Амоніт. Вартість ВР = $12264 * 60 = 735839$ грн/день;
- ЕВР. Вартість ВР = $12264 * 80 = 981119$ грн/день;

- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = $12264 * 50 = 613199$ грн/день;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $12264 * 100 = 1226398$ грн/день

Вартість ВР на місяць:

- Амоніт. Вартість ВР = $735839 * 24 = 17660135$ грн/міс;
- ЕВР. Вартість ВР = $981119 * 24 = 23546846$ рн/міс;
- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = $613199 * 24 = 14716779$ грн/міс;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $1226398 * 24 = 29433558$ грн/міс.

Вартість ВР на рік:

- Амоніт. Вартість ВР = $17660135 * 12 = 211921614$ грн/рік;
- ЕВР. Вартість ВР = $23546846 * 12 = 282562152$ грн/рік;
- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР = $14716779 * 12 = 176601345$ грн/рік;

- Мікрохвильова активація. Вартість ВР = $29433558 * 12 = 353202690$ грн/рік.

4. Підсумкові витрати:

- Амоніт: Вартість ВР: 735839 грн/день;

Матеріали для ініціювання: $12264 * 20 = 245280$ грн/день

Заробітня платня, день: $150 * 8 * 3 = 3600$ грн/день.

Інші витрати: $0.1 * 735839 = 73583$ грн/день

Підсумкові витрати за день:

Підсумкові витрати = Вартість ВР + Додаткові витрати, (3.13)

Підсумкові витрати за день = $735839 + 245280 + 73583 + 3600 = 1058302$ грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $1058302 * 24 = 25399259$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $25399259 * 12 = 304791113$ грн/рік

- ЕВР: Вартість ВР: 981119 грн/день;

Інші витрати: $0.1 * 981119 = 98112$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $981119 + 245280 + 98112 + 3600 = 1328110$
грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $1328110 * 24 = 31874642$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $31874642 * 12 = 382495705$ грн/рік

- Комбінація (Амоніт+газ). Вартість ВР: 613199 грн/день

Інші витрати: $0.1 * 613199 = 61320$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $613199 + 139298,3 + 61320 + 3600 = 923399$
грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $923399 * 24 = 22161568$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $22161568 * 12 = 265938818$ грн/рік

- Мікрохвильова активація: Вартість ВР: 1226398 грн/день;

Інші витрати: $0.1 * 1226398 = 122640$ грн/день

Підсумкові витрати за день = $1226398 + 245280 + 122640 + 3600 = 1597918$
грн/день

Підсумкові витрати за місяць: $1597918 * 24 = 38350025$ грн/міс

Підсумкові витрати за рік: $38350025 * 12 = 460200297$ грн/рік

Згідно проведеного аналізу продуктивності, економічної ефективності та таблиць (див. Таблиця 3.1, Таблиця 3.2) можна зроби висновки. Альтернативні методи вибухових робіт мають суттєві відмінності в порівнянні з поточним методом за такими ключовими параметрами як маса заряду, об'єм продуктів вибуху, потужність вибуху та екологічне вплив. Найбільш економічно ефективним виявився комбінований заряд (амоніт+газ), який забезпечує найнижчі річні витрати для всіх трьох блоків местородження - 555,950,655 грн/рік для блоку 325, 151,478,955 грн/рік для блоку 371 та 265,938,7 характеризується помірним екологічним впливом і досить високою потужністю вибуху (1,125,000 кДж).

Мікрохвильова активація, незважаючи на свою найвищу вартість (962,887,482 грн/рік для блоку 325, 261,803,202 грн/рік для блоку 371 та 460,200,297 грн/рік для блоку 367), є найбільш безпечною з екологічної точки

серед усіх розглянутих методів. Емульсійні вибухові речовини (ЄВР) займають проміжне положення за економічною ефективністю та мають найнижчий екологічний вплив, проте їх потужність вибуху (1,050,000 кДж) є недостатньою для деяких видів робіт. Поточний метод з використанням амоніту є компромісним варіантом за співвідношенням вартості, продуктивності та екологічного впливу, однак його показники не є найоптимальнішими в жодному з цих аспектів.

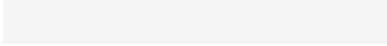
Таблиця 3.2 - Порівняння економічної ефективності поточного метода з альтернативними

Параметр	Блок 325				Блок 371				Блок 367			
	Амон.	ЄВР	Комб.	Мікр.	Амон.	ЄВР	Комб.	Мікр.	Амон.	ЄВР	Комб.	Мікр.
Загальний об'єм, м ³	24662838				6686318				11773423			
Маса ВР на рік, кг/рік	7398851				2005895				3532027			
Вартість ВР на рік, грн	443931084	591908112	369942570	739885140	120353724	160471632	100294770	200589540	211921614	282562152	176601345	353202690
Підсумкові витрати за рік, грн	637338020	800112751	555950655	962887482	173543804	217673503	151478955	261803202	304791113	382495705	265938818	460200297

Джерело: складено автором

Таким чином, вибір конкретного методу повинен базуватися на комплексному врахуванні всіх факторів: при пріоритеті економічної ефективності необхідно використовувати комбінований заряд; за необхідності мінімізації екологічного впливу - ЄВР або мікрохвильову активацію; за потреби в максимальній потужності вибуху - поточний метод

за амонітом. Кожен з альтернативних методів має свої переваги і недоліки, тому кінцеве рішення має прийматися з урахуванням специфічних умов конкретного блоку місцезнаходження та загальної стратегії розробки.



РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Технологічні процеси на Торчинському родовищі апатит-ільменітових руд включають видобуток, збагачення та транспортування корисної копалини. Усі ці етапи супроводжуються значними ризиками для здоров'я та життя працівників, що вимагає чітких заходів з охорони праці та техніки безпеки. Ці заходи повинні відповідати законодавству України, зокрема «Закону України "Про охорону праці" № 2694-III від 14 жовтня 1992 року», «Правилам безпеки при веденні гірничих робіт» (наказ Держгірпромнагляду України № 367 від 28 вересня 2015 року) та іншим нормативним документам [8].

Особливо важливо враховувати, що Торчинське родовище знаходиться у складних геологічних умовах, які вимагають дотримання спеціальних заходів безпеки. Відповідно до статті 5 «Закону України "Про охорону праці"», кожен працівник має право на безпечні та нешкідливі умови праці, що створюються шляхом впровадження системи управління охороною праці на підприємстві. Це включає не лише організаційні заходи, але й технічні рішення, які забезпечують мінімізацію ризиків [9].

Крім того, важливим аспектом є дотримання вимог «Закону України "Про загальнодержавну програму охорони навколишнього природного середовища" № 187/95-ВР від 21 червня 1995 року», який регулює питання, пов'язані з впливом гірничодобувної діяльності на довкілля. Цей закон передбачає не лише мінімізацію негативного впливу на природу, але й обов'язкову рекультивацію земель після завершення видобутку [10].

Організаційні заходи є основою забезпечення безпеки на виробництві. Вони включають комплекс дій, спрямованих на навчання персоналу, контроль за дотриманням норм безпеки та розробку інструкцій, які враховують специфіку технологічних процесів.

Наприклад, згідно з «Положенням про порядок проведення навчання з питань охорони праці» (наказ Міністерства соціальної політики України № 42 від 28 лютого 2018 року), всі працівники, які беруть участь у видобутку та збагаченні руди, повинні проходити первинний, повторний та позаплановий інструктажі. Особливу увагу слід приділяти правилам поведінки в аварійних ситуаціях, оскільки саме вони часто стають причиною травм або навіть летальних випадків [11].

Крім того, для кожного виду робіт необхідно розробити детальні інструкції з охорони праці, які враховують специфіку технологічних процесів. Наприклад, при проведенні вибухових робіт, які є одним із найбільш небезпечних етапів видобутку, інструкції повинні включати не лише правила зберігання вибухових матеріалів, але й чіткий алгоритм евакуації персоналу.

Постійний нагляд за дотриманням правил охорони праці здійснюється службою охорони праці підприємства, а також представниками Держгірпромнагляду. Відповідно до «Положення про Державну інспекцію з нагляду за безпечним веденням гірничих робіт» (наказ Кабінету Міністрів України № 1018 від 28 серпня 2019 року), регулярні перевірки є обов'язковими для забезпечення безпеки на підприємстві [12].

Технічні заходи спрямовані на мінімізацію ризиків, пов'язаних із використанням обладнання та технологій. На Торчинському родовищі особливу увагу слід приділяти безпечній організації кар'єрних робіт, де використовуються потужні екскаватори Hyundai ЕШ-10/70 і ЕШ-6.5/45, а також автосамоскиди вантажопідйомністю 40–60 тонн [7].

Наприклад, вибухові роботи, які є невід'ємною частиною видобутку, повинні проводитися з дотриманням ряду важливих умов. Згідно з «Правилами безпеки при веденні гірничих робіт», вибухові матеріали повинні зберігатися у спеціально обладнаних складах, а доступ до зони проведення вибухів повинен бути обмежений. Перед початком робіт необхідно проводити евакуацію персоналу та встановлювати сигнальні системи для попередження про початок вибухових робіт.

Ще однією важливою складовою технічних заходів є забезпечення безпечної експлуатації транспортних засобів. Усі транспортні засоби повинні мати справні гальмівні системи та світлову сигналізацію. Крім того, внутрішньокар'єрні дороги повинні мати поліпшене покриття для зменшення впливу на довкілля та забезпечення безпеки руху.

Санітарно-гігієнічні заходи є невід'ємною частиною забезпечення безпеки на виробництві. У приміщеннях, де проводяться технологічні процеси, необхідно регулярно проводити заміри концентрації пилу та шкідливих речовин. Це вимагається «Гігієнічними нормами проектування промислових підприємств» (наказ Міністерства охорони здоров'я України № 449 від 12 серпня 2010 року) [13].

Крім того, усі працівники повинні проходити обов'язкові медичні огляди перед прийняттям на роботу та періодично протягом трудової діяльності. Це допомагає вчасно виявити можливі проблеми зі здоров'ям, які можуть виникнути через вплив шкідливих факторів на виробництві.

Протипожежні заходи є важливою частиною забезпечення безпеки на Торчинському родовищі. Усі приміщення та технологічні об'єкти повинні бути обладнані протипожежними засобами, такими як вогнегасники, гідранти та системи автоматичної пожежної сигналізації. Працівники повинні бути навчені діям у разі виникнення пожежі, що вимагається «Правилами пожежної безпеки в Україні» (наказ Міністерства внутрішніх справ України № 642 від 17 жовтня 2017 року) [14].

Екологічні заходи є невід'ємною частиною роботи на Торчинському родовищі. Згідно з «Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища" № 187/95-ВР від 21 червня 1995 року», підприємство зобов'язане мінімізувати негативний вплив на довкілля. Для цього передбачається паралельна рекультивація відпрацьованих ділянок, що дозволяє зменшити термін впливу депресивних ліжок до 500 метрів [10].

Крім того, хвости збагачення подаються у вироблений простір для запобігання забруднення навколишнього середовища. Використання

шкідливих для оточуючого середовища реагентів не передбачається, що також відповідає вимогам законодавства.

Вибухові роботи є одним із найбільш небезпечних етапів технологічного процесу на Торчинському родовищі, оскільки вони супроводжуються значними ризиками для здоров'я та життя працівників, а також можуть мати негативний вплив на довкілля. Для забезпечення безпеки цього процесу необхідно дотримуватися «Закону України "Про промислову безпеку небезпечних об'єктів" № 557-VIII від 5 червня 2015 року» та «Правил безпеки при веденні гірничих робіт» (наказ Держгірпромнагляду України № 367 від 28 вересня 2015 року) [15].

Організація вибухових робіт повинна починатися з розробки детального плану, який враховує геологічні умови родовища, особливості розташування рудних тіл та потужність розкривних порід. Згідно з «Положенням про порядок проведення вибухових робіт» (наказ Міністерства внутрішніх справ України № 626 від 17 жовтня 2017 року), всі вибухові матеріали повинні зберігатися у спеціально обладнаних складах, які знаходяться поза межами кар'єру. Крім того, доступ до зони проведення вибухів повинен бути обмежений, а персонал повинен бути евакуйований за межі безпечного радіусу [16].

Перед початком вибухових робіт необхідно провести інструктаж працівників, який включає правила поведінки під час евакуації та дії у разі аварійної ситуації. Це вимагається « (наказ Міністерства соціальної політики України № 42 від 28 лютого 2018 року). Працівники, які беруть участь у вибухових роботах, повинні мати відповідну кваліфікацію та дозвіл на виконання таких робіт [11].

Для мінімізації екологічного впливу вибухових робіт рекомендується використовувати сучасні технології, такі як направлені вибухи, які зменшують кількість пилу та шуму. Це відповідає вимогам «Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища" № 187/95-ВР від 21 червня 1995 року» [10].

Під час проведення вибухових робіт на Торчинському родовищі особливу увагу слід приділяти дотриманню правил безпеки, які забезпечують захист життя та здоров'я працівників. Перед початком будь-яких вибухових робіт обов'язковою є евакуація всього персоналу за межі безпечного радіусу, який визначається залежно від масштабу планованого вибуху. Усі працівники повинні бути інформовані про годину проведення вибухових робіт за допомогою звукових та світлових сигналів, що подаються за певний проміжок години до початку вибуху.

Забороняється знаходитись у зоні проведення вибухових робіт без спеціального дозволу та необхідного обладнання. Особливо важливо контролювати доступ до місць зберігання вибухових матеріалів, оскільки це один із найнебезпечніших аспектів роботи. Вибухові матеріали повинні зберігатися у спеціально обладнаних складах, розташованих за межами кар'єру, де дотримуються всі вимоги безпеки. Категорично забороняється курити чи користуватися відкритим вогнем поблизу місць зберігання вибухових матеріалів.

У разі виявлення несправностей в системі ініціювання зарядів або будь-яких інших технічних проблем, проведення вибухових робіт має бути негайно припинено до повного усунення несправності. Перед початком робіт проводиться детальна перевірка справності електричних мереж та систем ініціювання зарядів, що дозволяє запобігти можливим аварійним ситуаціям. Усі працівники, які беруть участь у проведенні вибухових робіт, повинні мати спеціальну підготовку та дозвіл на виконання таких робіт, що підтверджується відповідними документами.

Під час підготовки до вибухових робіт особливу увагу приділяється контролю за правильності розташування зарядів, їх масою та послідовністю ініціювання, що забезпечує максимальну ефективність руйнування породи при мінімізації небезпечних факторів. Наприклад, для зменшення шкідливого впливу на довкілля рекомендується використовувати сучасні технології, такі як спрямовані вибухи або емульсійні вибухові речовини, які знижують

кількість пилу та шуму. Усі заходи щодо зниження екологічного впливу вибухових робіт документуються та регулярно перевіряються представниками Держгірпромнагляду.

Регулярний контроль за дотриманням правил охорони праці здійснюється службою охорони праці підприємства та представниками державних органів нагляду, що забезпечує високий рівень безпеки та профілактики травматизму. Паралельно з цим проводяться заходи з рекультивації територій, які були піддані вибуховому впливу, що сприяє швидкому відновленню ландшафту.

Таким чином, дотримання законодавчих норм та правил безпеки при проведенні вибухових робіт є ключовим фактором для забезпечення безпечних умов праці та збереження навколишнього середовища.

Заходи з охорони праці та техніки безпеки на Торчинському родовищі є комплексними та охоплюють всі етапи технологічних процесів. Дотримання цих заходів забезпечить безпечні умови праці, знизить ризики аварій та травм, а також мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище. Усі ці заходи відповідають законодавству України, зокрема «Закону України "Про охорону праці"», «Правилам безпеки при веденні гірничих робіт» та іншим нормативним документам.

ВИСНОВКИ

В рамках цього дослідження було проведено комплексний аналіз гірничо-геологічних умов та технологічних процесів розробки Торчинського апатит-ільменітового родовища. Основними завданнями були обґрунтування оптимальної технології видобутку, оцінка економічної ефективності та розробка заходів з охорони праці.

Аналіз геологічної будови родовища виявив його складну тектонічну структуру з трьома основними тектонічними блоками, що потребують індивідуального підходу до розробки. Рудні тіла мають лінзовидну форму з нерівномірною потужністю від 10 до 25 метрів, що значно ускладнює планування кар'єрного поля. Особливістю родовища є його контрастна асиметрія: західна частина характеризується більш високими концентраціями ільменіту (до 3843 кг/м²), порівняно зі східною (100–300 кг/м²).

Проведене дослідження показало, що найперспективнішим для розробки є блок 371, який має інтегральний показник ефективності +670638414 грн. При цьому блоки 325 та 367 є економічно нерентабельними для розробки (-272008000 грн та -99685672 грн відповідно). Такий розподіл продуктивності по блоках дозволяє оптимізувати порядок відпрацювання родовища, починаючи з найперспективніших ділянок.

Аналіз технологій вибухових робіт продемонстрував, що традиційне використання амоніту не є найоптимальнішим рішенням з точки зору співвідношення вартості, продуктивності та екологічного впливу. Найбільш економічно ефективним виявився комбінований заряд (амоніт+газ) з річними витратами 369942570 грн для блоку 325 100294770 грн для блоку 371 та 176601345 грн для блоку 367. для блоку 325 261803202 грн/рік для блоку 371 та 460200297 грн/рік для блоку 367), забезпечує найбезпечніші умови з екологічної точки зору.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці та безпеки ведення гірничих робіт. Встановлено, що для забезпечення безпечних умов праці

необхідно дотримуватися комплексу організаційних та технічних заходів. До них належать: регулярні інструктажі персоналу, евакуація працівників за межі безпечного радіусу перед початком вибухових робіт, зберігання вибухових матеріалів у спеціально обладнаних складах, контроль за станом гірничого обладнання та транспортних засобів.

Екологічний аспект розробки родовища також є важливим компонентом проекту. Застосування сучасних технологій, таких як спрямовані вибухи та емульсійні вибухові речовини, дозволяє значно знизити негативний вплив на довкілля. Паралельна рекультивация відпрацьованих ділянок дозволяє зменшити термін впливу депресивних лійок до 500 метрів та забезпечити швидке відновлення ландшафту.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для розробки проектної документації та практичної реалізації проекту розробки Торчинського родовища. Комплексний підхід до вирішення поставлених завдань дозволяє врахувати всі особливості місця розташування та забезпечити максимальну економічну ефективність проекту при дотриманні вимог безпеки та екологічних норм.

Таким чином, проведене дослідження дозволило обґрунтувати оптимальну технологію видобутку та переробки руди Торчинського родовища, розробити ефективну систему відкритої розробки з урахуванням блокової структури родовища, провести порівняльний аналіз технологій вибухових робіт та розрахувати економічну ефективність запропонованих рішень. Усі ці заходи спрямовані на забезпечення безпечних умов праці, мінімізацію негативного впливу на довкілля та досягнення максимальної економічної ефективності проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Institutional Repository of Polissia National University: Геологічні умови формування та комплексне освоєння Торчинського апатит-ільменітового родовища. Institutional Repository of Polissia National University: Главная страница. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/8392>
2. Аналіз розподіл ільменіту у титанових родовищах шляхом GIS – моделювання (на прикладі. Торчинського апатит-ільменітового родовища) / С. Василенко та ін. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*. № 3. С. 4–15.
3. Хрущов, Д. П. Цільові експертні системи геологічної спрямованості: концепція проблеми // *Геологічний журнал*. – 2015. – №3 [352]. – 2015. – С.17-30.
4. Фігура Л., Ковальчук М. ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ІЛЬМЕНІТУ Й АПАТИТУ У КРИСТАЛІЧНИХ ПОРОДАХ ФУНДАМЕНТУ ТА КОРИ ВИВІТРЮВАННЯ ТОРЧИНСЬКОГО РОДОВИЩА. *Visnyk of the Lviv University Geology Series*. 2024. № 38. С. 15–28. URL: <https://doi.org/10.30970/vgl.38.02> .
5. Про затвердження Інструкції про зміст, оформлення і порядок подання в ДКЗ України матеріалів з геолого-економічної оцінки запасів вугілля і горючих сланців – zakon.cc. *Закони* – zakon.cc. URL: <https://zakon.cc/law/document/read/z0499-97>
6. Про затвердження Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ будівельного й облицювального каменю. ІПС ЛІГА:ЗАКОН - система пошуку, аналізу та моніторингу нормативно-правової бази. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/REG7399>
7. Яременко О. В. Геологічні умови формування й комплексне освоєння Торчинського апатит-ільменітового родовища. *Мінеральні ресурси України (МРУ)*. 2016. № 4. С. 20–24.

8. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ : станом на 1 січ. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

9. Про охорону праці Стаття 5. Права на охорону праці під час укладання трудового договору. *Головна - Законодавство України 2019 рік*. URL: https://kodeksy.com.ua/pro_ohoronu_pratsi283_new/statja-5.htm

10. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ : станом на 15 листоп. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.

11. Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) та Переліку робіт з підвищеною небезпекою : Наказ Держ. ком. України з нагляду за охорон. пр. від 26.01.2005 № 15 : станом на 25 жовт. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text>

12. Питання Державного комітету України по нагляду за безпечним веденням робіт у промисловості і гірничому нагляду : Постанова Каб. Міністрів України від 23.09.1991 № 218 : станом на 4 трав. 1993 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/218-91-п#Text>

13. СН 245-71 (ДНАОП 0.03-3.01-71) Санітарні норми проектування промислових підприємств. *БУДСТАНДАРТ - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=22186.

14. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : Наказ М-ва внутр. справ України від 30.12.2014 № 1417 : станом на 14 серп. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>

15. Закон України Про промислову безпеку. ІПС ЛІГА:ЗАКОН - система пошуку, аналізу та моніторингу нормативно-правової бази. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JF1P500A>

16. Про затвердження Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні : Наказ М-ва енергетики та вугіл. пром-сті України від

18.07.2013 № 469 : станом на 2 черв. 2023 р. URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1320-13#Text>.