

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра	хімічних технологій та інженерії
Спеціальність	184 Гірництво
Форма навчання	денна
Група	ГР-23ск

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

здобувача Шапрана Є. Р.

на тему

**«РОЗРОБКА ПЕТРІВСЬКОГО РОДОВИЩА ЗАЛІЗНИХ РУД З
ОПТИМІЗАЦІЄЮ ВИДОБУВНИХ РОБІТ У КАР'ЄРІ № 3 ПРАТ «ЦГЗК»»**

за матеріалами

Петрівського родовища залізних руд, кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»

Науковий керівник

_____	_____	_____
д.т.н., професор	Темченко О. А.	
(наук. ступінь, вчене звання)	(підпис)	(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри ХТІ

від «__» _____ 2026 р. № _____

Завідувач кафедри

_____	_____	_____
к.т.н., доцент	Шмельцер К. О.	
(наук. ступінь, вчене звання)	(підпис)	(прізвище, ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
 Кафедра хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти: бакалавр
 Спеціальність: 184 Гірництво

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри хімічних технологій
 та інженерії

 (підпис)

 (посада, вчене звання, прізвище, ініціали)

«__» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ (ЦІ)

Шапрану Євгенію Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Розробка Петрівського родовища залізних руд з оптимізацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК»».

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи: Темченко Олександр Анатолійович, доктор технічних наук, професор.

Тема і керівник затверджені наказом закладу вищої освіти від «06» 04. 2026 р. № 229ст.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної бакалаврської роботи до кафедри хімічних технологій та інженерії: 30.05.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

- тема КБР; матеріали щодо Петрівського родовища залізних руд і кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»; офіційні матеріали ПрАТ «ЦГЗК» та відкриті фахові джерела за темою дослідження;
- вихідні дані розрахункової частини: $m_n = 220$ м; $L = 1910$ м; $\alpha = 70^\circ$; $h = 30$ м; $X = +25$ м; $\rho_{pp} = 2,9$ т/м³; $\rho_{kk} = 3,3$ т/м³; $\gamma_{pp} = 14$; $\gamma_{kk} = 14$; $\beta_n = 42^\circ$; $A_{kk} = 2$ млн т/рік; $K_p = 3$ %;
- нормативно-правові документи з гірничого законодавства, охорони праці, відкритих гірничих робіт, екологічної безпеки та оформлення кваліфікаційних робіт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Аналітична частина: провести аналіз сучасного стану відкритих гірничих робіт в Україні та світі; охарактеризувати технології видобутку і транспортування гірничої маси; проаналізувати сучасні фахові джерела за темою дослідження; надати характеристику ПрАТ «ЦГЗК», Петрівського родовища та кар'єру № 3; розглянути геологічні, фізико-механічні, гідрогеологічні, кліматичні та гірничо-технічні умови розробки.

4.2. Основна частина: розрахувати основні технологічні параметри умовного кар'єру; обґрунтувати розкриття та систему розробки умовного родовища; визначити параметри підготовки гірських порід до виймання; обґрунтувати виймально-навантажувальні роботи, транспортування кар'єрних вантажів, відвалоутворення розкривних порід і рекультивацію порушених земель.

4.3. Екологічні аспекти, охорона праці та цивільний захист: проаналізувати основні екологічні проблеми відкритої розробки; розробити технологічні заходи з охорони навколишнього середовища; охарактеризувати систему протиаварійного захисту і безпеку праці на кар'єрі; провести аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів; запропонувати технічні, організаційні, протипожежні заходи та заходи цивільного захисту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) (за необхідності):

план кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»; схема розкриття кар'єру; схема нормальної робочої площадки; паспорт роботи екскаватора на видобутку сировини руди; геологічний розріз Петрівського родовища; транспортна схема кар'єру; розрахункові таблиці, графіки та інші матеріали, що деталізують специфіку видобувних робіт, за наявності та погодженням із керівником.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної бакалаврської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання видав	Підпис, дата завдання прийняв
Аналітична частина	Проф. Темченко О.А.		
Основна частина	Проф. Темченко О.А.		
Екологічні аспекти, охорона праці та цивільний захист	Проф. Темченко О.А.		

7. Дата видачі завдання: «06» 04. 2026 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної бакалаврської роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної бакалаврської роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.2026	
2.	Основна частина	26.05.2026	
3.	Екологічні аспекти, охорона праці та цивільний захист	30.05.2026	
4.	Оформлення пояснювальної записки	01.06.2026	
5.	Виконання графічної частини (за необхідності)		
6.	Подання роботи до кафедри ХТІ з попередньою оцінкою відсотка схожості матеріалів дослідження	03.06.2026	
7.	Захист роботи в ЕК	18.06.2026	

Здобувач

Шапран Є. Р.

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи

Темченко О. А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

[illegible]

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АСУ	автоматизована система управління
БВР	буровибухові роботи
ВГР	відкриті гірничі роботи
ВР	вибухова речовина
ГЗК	гірничо-збагачувальний комбінат
ДСТУ	державний стандарт України
ЗІЗ	засоби індивідуального захисту
КБР	кваліфікаційна бакалаврська робота
КР	кваліфікаційна робота
ННТІ	навчально-науковий технологічний інститут
ОВД	оцінка впливу на довкілля
ОП	освітня програма
ПММ	паливно-мастильні матеріали
ПрАТ	приватне акціонерне товариство
ХТІ	хімічні технології та інженерія
ЦГЗК	Центральний гірничо-збагачувальний комбінат
GPS	Global Positioning System, система глобального позиціонування
ICMM	International Council on Mining and Metals, Міжнародна рада з гірничої справи та металів
DOI	Digital Object Identifier, цифровий ідентифікатор об'єкта
URL	Uniform Resource Locator, уніфікований покажчик ресурсу
USGS	United States Geological Survey, Геологічна служба США

Умовні позначення, які використовуються у формулах розрахункової частини, розшифровуються безпосередньо під відповідними формулами.

АНОТАЦІЯ

Шапран Є. Р. Розробка Петрівського родовища залізних руд з оптимізацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК». Кваліфікаційна бакалаврська робота за спеціальністю 184 Гірництво. Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2026.

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена розробці Петрівського родовища залізних руд з оптимізацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат». Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності відкритих гірничих робіт, раціонального використання гірничого обладнання, удосконалення буровибухових, виймально-навантажувальних і транспортних процесів, забезпечення безпеки праці та зменшення негативного впливу кар'єрного виробництва на навколишнє середовище. У першому розділі проаналізовано сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі, охарактеризовано основні технології видобутку і транспортування гірничої маси в сучасних кар'єрах, розглянуто проблеми та тенденції розвитку відкритого гірництва. Особливу увагу приділено цифровізації гірничого виробництва, оптимізації параметрів кар'єрів, удосконаленню буровибухових і транспортних процесів, а також аналізу сучасних фахових джерел за темою дослідження. Наведено характеристику ПрАТ «ЦГЗК», геологічну будову Петрівського родовища, фізико-механічні властивості гірських порід, гідрогеологічні й кліматичні умови та гірничо-технічну характеристику кар'єру № 3. У другому розділі виконано розрахунок технологічних параметрів умовного кар'єру відповідно до прийнятих вихідних даних розрахункової частини. Визначено основні геометричні параметри кар'єру, обсяги корисної копалини і розкривних порід, балансові та промислові запаси, середній коефіцієнт розкриву, орієнтовний строк експлуатації кар'єру. Обґрунтовано спосіб розкриття умовного родовища, систему відкритої розробки, параметри буровибухових робіт, вибір бурового, виймально-навантажувального і транспортного обладнання, а також організацію відвалоутворення та рекультивації земель, порушених гірничими

роботами. Для посилення зв'язку розрахункової частини з реальним об'єктом дослідження використано матеріали щодо системи розробки, транспортування, відвального господарства та паспорта екскаваторного вибою Петрівського кар'єру. У третьому розділі розглянуто екологічні аспекти, питання охорони праці та цивільного захисту при відкритій розробці родовища. Проаналізовано основні екологічні проблеми відкритих гірничих робіт, небезпечні та шкідливі виробничі фактори, систему протиаварійного захисту, технічні й організаційні заходи безпеки, пожежну безпеку та заходи цивільного захисту. Запропоновано комплекс заходів, спрямованих на зменшення пилового забруднення, раціональне водовідведення, безпечну експлуатацію обладнання, запобігання аварійним ситуаціям і забезпечення безпечних умов праці на кар'єрі. Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні технологічних рішень, які можуть бути використані для оцінювання та удосконалення організації видобувних робіт при відкритій розробці залізрудних родовищ. Отримані результати мають навчально-розрахункове значення і можуть бути застосовані для аналізу ефективності окремих елементів технологічної схеми кар'єру, зокрема буровибухових, виймально-навантажувальних, транспортних і відвальних робіт. Кваліфікаційна бакалаврська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 173 сторінки, 20 таблиць, 14 рисунків, 3 додатки і 52 найменування у списку використаних джерел.

Ключові слова: відкрита розробка, Петрівське родовище, залізні руди, кар'єр № 3, ПрАТ «ЦГЗК», оптимізація видобувних робіт, буровибухові роботи, виймально-навантажувальні роботи, кар'єрний транспорт, охорона праці.

ABSTRACT

Shapran Ye. R. Development of the Petrivske Iron Ore Deposit with Optimization of Mining Operations at Open Pit No. 3 of PrJSC “CGOK”. Bachelor’s Qualification Thesis in Specialty 184 Mining. State University of Economics and Technology. Kryvyi Rih, 2026. The bachelor’s qualification thesis is devoted to the development of the Petrivske iron ore deposit with optimization of mining operations at Open Pit No. 3 of PrJSC “Central Mining and Processing Plant”. The relevance of the topic is determined by the need to improve the efficiency of open-pit mining operations, ensure rational use of mining equipment, improve drilling-and-blasting, excavation-and-loading and transportation processes, provide occupational safety, and reduce the negative environmental impact of open-pit mining. The first section analyzes the current state of open-pit mining in Ukraine and worldwide, characterizes the main technologies of mining and transportation of rock mass in modern open pits, and considers the main problems and development trends of open-pit mining. Special attention is paid to the digitalization of mining production, optimization of open-pit parameters, improvement of drilling-and-blasting and transportation processes, and analysis of modern professional sources related to the research topic. The section also presents a general description of PrJSC “CGOK”, the geological structure of the Petrivske deposit, physical and mechanical properties of rocks, hydrogeological and climatic conditions, and the mining and technical characteristics of Open Pit No. 3. The second section presents the calculation of technological parameters of a conditional open pit according to the accepted initial data of the calculation part. The main geometric parameters of the open pit, volumes of mineral and overburden rocks, balance and commercial reserves, average stripping ratio, and approximate service life of the open pit are determined. The method of opening the conditional deposit, the open-pit mining system, parameters of drilling-and-blasting operations, selection of drilling, excavation-and-loading and transportation equipment, as well as the organization of overburden dumping and land reclamation are substantiated. To strengthen the connection between the calculation part and the real research object, materials concerning the mining system, transportation, dumping facilities and the

excavator face passport of the Petrivske open pit are used. The third section considers environmental aspects, occupational safety and civil protection in open-pit mining. The main environmental problems of open-pit mining, hazardous and harmful production factors, emergency protection system, technical and organizational safety measures, fire safety and civil protection measures are analyzed. A set of measures is proposed to reduce dust pollution, ensure rational mine water drainage, safe operation of equipment, prevention of emergencies and safe working conditions in the open pit. The practical significance of the thesis lies in the substantiation of technological solutions that can be used to assess and improve the organization of mining operations in the open-pit development of iron ore deposits. The obtained results have educational and calculation significance and may be applied to analyze the efficiency of individual elements of the open-pit technological scheme, in particular drilling-and-blasting, excavation-and-loading, transportation and dumping operations. The bachelor's qualification thesis consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of references and appendices. The thesis contains 173 pages, 20 tables, 14 figures, 3 appendices and 52 references. Keywords: open-pit mining, Petrivske deposit, iron ores, Open Pit No. 3, PrJSC "CGOK", optimization of mining operations, drilling-and-blasting operations, excavation-and-loading operations, open-pit transport, occupational safety.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	15
1.1. Сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі	15
1.2. Характеристика технологій видобутку та транспортування гірничої маси в сучасних кар'єрах.....	18
1.3. Проблеми та тенденції розвитку відкритих гірничих робіт з аналізом сучасних фахових джерел за обраною науковою проблематикою. Інформація про характеристику гірничо-збагачувального підприємства ПрАТ «ЦГЗК»	24
1.4. Геологічна будова Петрівського родовища залізних руд	35
1.5. Фізико-механічні властивості гірських порід	37
1.6. Гідрогеологічні та кліматичні умови розробки родовища	39
1.7. Гірничо-технічна характеристика Петрівського родовища та кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»	41
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА «РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УМОВНОГО КАР'ЄРУ ЗА ПРИЙНЯТИМИ ВИХІДНИМИ ДАНИМИ» ..	48
2.1. Загальна організація відкритих гірничих робіт.....	48
2.2. Розкриття та система розробки умовного родовища.....	56
2.3. Підготовка гірських порід до виймання	70
2.4. Виймально-навантажувальні роботи.....	81
2.5. Транспортування кар'єрних вантажів.....	88

2.6. Відвалоутворення розкривних порід.....	98
2.7. Рекультивація земель, порушених гірничими роботами	109
3. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ	115
3.1. Основні екологічні проблеми при відкритій розробці родовища корисної копалини.....	115
3.2. Технологічні заходи з охорони навколишнього середовища	118
3.3. Система протиаварійного захисту і безпека праці на кар'єрі	123
3.4. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на відкритих гірничих роботах	130
3.5. Технічні та організаційні заходи безпеки	136
3.6. Пожежна безпека і заходи цивільного захисту	144
ВИСНОВКИ.....	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	158
ДОДАТКИ.....	165

ВСТУП

Гірничодобувна промисловість є однією з базових галузей промислового комплексу України, оскільки забезпечує металургійне виробництво необхідною мінерально-сировинною базою. Особливе значення для економіки держави має видобуток залізних руд, що використовуються для виробництва залізорудного концентрату, окатків та іншої сировини для чорної металургії. У сучасних умовах ефективне функціонування гірничодобувних підприємств потребує раціонального використання запасів корисних копалин, удосконалення технологічних схем відкритої розробки, підвищення продуктивності основних виробничих процесів, зниження витрат на видобування та транспортування гірничої маси, а також забезпечення належного рівня охорони праці й охорони навколишнього середовища. Відкритий спосіб розробки родовищ залізних руд залишається одним із найбільш поширених і продуктивних способів видобування корисних копалин. Його ефективність значною мірою залежить від правильного вибору системи розробки, параметрів кар'єру, висоти уступів, способів підготовки гірських порід до виймання, типу виймально-навантажувального обладнання, транспортної схеми та організації відвалоутворення. Особливої актуальності ці питання набувають для глибоких залізорудних кар'єрів, де зі збільшенням глибини розробки ускладнюються умови транспортування, зростає протяжність кар'єрних комунікацій, підвищуються вимоги до стійкості бортів і безпеки ведення гірничих робіт. Петрівське родовище залізних руд, розробка якого пов'язана з кар'єром № 3, є важливим об'єктом відкритих гірничих робіт. Для нього характерні складні гірничо-геологічні умови, значна глибина розробки, необхідність ефективної організації виймально-навантажувальних і транспортних процесів, а також потреба у забезпеченні стабільної роботи гірничого підприємства. За таких умов оптимізація видобувних робіт є важливим напрямом підвищення ефективності розробки родовища, оскільки вона дає змогу раціональніше використовувати технічні ресурси, зменшувати простої обладнання, покращувати взаємодію між

основними технологічними процесами та підвищувати загальну результативність кар'єрного виробництва.

Актуальність теми кваліфікаційної бакалаврської роботи зумовлена необхідністю обґрунтування технологічних рішень щодо розробки Петрівського родовища залізних руд з урахуванням сучасних вимог до ефективності, безпеки та екологічної відповідальності відкритих гірничих робіт. Оптимізація видобувних процесів у кар'єрі № 3 має важливе практичне значення, оскільки пов'язана з удосконаленням організації гірничих робіт, підвищенням продуктивності виймально-навантажувального і транспортного комплексів, раціональним використанням запасів корисної копалини та зниженням негативного впливу гірничого виробництва на довкілля. Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є обґрунтування технологічних рішень щодо розробки Петрівського родовища залізних руд та оптимізації видобувних робіт у кар'єрі № 3 на основі аналізу гірничо-геологічних умов, сучасних технологій відкритої розробки та розрахунку основних технологічних параметрів умовного кар'єру за прийнятими вихідними даними розрахункової частини. Для досягнення поставленої мети у роботі передбачено вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі;
- охарактеризувати основні технології видобутку та транспортування гірничої маси в сучасних кар'єрах;
- розглянути проблеми та тенденції розвитку відкритих гірничих робіт за обраною науково-технічною проблематикою;
- надати загальну характеристику гірничо-збагачувального підприємства ПрАТ «ЦГЗК» та кар'єру № 3;
- розглянути геологічну будову Петрівського родовища залізних руд;
- охарактеризувати фізико-механічні властивості гірських порід, гідрогеологічні та кліматичні умови розробки родовища;
- визначити основні гірничо-технічні особливості розробки родовища;
- виконати розрахунок технологічних параметрів умовного кар'єру за прийнятими вихідними даними;

- обґрунтувати загальну організацію відкритих гірничих робіт, розкриття та систему розробки умовного родовища;
- розглянути підготовку гірських порід до виймання, виймально-навантажувальні роботи, транспортування кар'єрних вантажів і відвалоутворення розкривних порід;
- визначити загальні підходи до рекультивації земель, порушених гірничими роботами;
- проаналізувати основні екологічні проблеми, небезпечні та шкідливі виробничі фактори при відкритій розробці родовища;
- запропонувати технологічні, організаційні та технічні заходи з охорони навколишнього середовища, охорони праці, протипожежного захисту, пожежної безпеки та цивільного захисту.

Об'єктом дослідження є процес відкритої розробки Петрівського родовища залізних руд у кар'єрі № 3.

Предметом дослідження є технологічні параметри та організаційно-технічні рішення видобувних робіт, спрямовані на підвищення ефективності відкритої розробки Петрівського родовища залізних руд.

У процесі виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи використано такі методи дослідження: аналіз науково-технічної, навчальної, довідкової та нормативної літератури; систематизація й узагальнення матеріалів щодо відкритої розробки залізрудних родовищ; порівняльний аналіз технологічних схем видобутку і транспортування гірничої маси; інженерні розрахунки технологічних параметрів умовного кар'єру; графо-аналітичний метод для обґрунтування окремих параметрів гірничих робіт; метод техніко-технологічного аналізу для визначення напрямів оптимізації видобувних процесів.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих результатів для обґрунтування технологічних рішень при організації відкритої розробки залізрудного родовища, виборі параметрів видобувних робіт, оцінюванні взаємодії основних виробничих процесів, а також при розробленні заходів з охорони праці та охорони навколишнього середовища. Результати розрахунків можуть бути використані як навчально-розрахункова основа для

оцінювання ефективності окремих технологічних рішень у межах теми бакалаврської роботи.

Кваліфікаційна бакалаврська робота складається зі вступу, трьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. У першому розділі наведено аналітичну характеристику сучасного стану відкритих гірничих робіт, розглянуто технології видобутку і транспортування гірничої маси, проблеми та тенденції розвитку галузі, а також гірничо-геологічні й гірничо-технічні умови Петрівського родовища. У другому розділі виконано розрахунок технологічних параметрів умовного кар'єру за прийнятими вихідними даними розрахункової частини, розглянуто загальну організацію відкритих гірничих робіт, розкриття, систему розробки, підготовку порід до виймання, виймально-навантажувальні роботи, транспортування, відвалоутворення та рекультивацію. У третьому розділі проаналізовано екологічні аспекти відкритої розробки, питання охорони праці, протипожежного захисту, пожежної безпеки та цивільного захисту.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі

Відкриті гірничі роботи є одним із провідних способів розробки родовищ твердих корисних копалин у світовій гірничодобувній промисловості. Їх широке застосування зумовлене високою продуктивністю, можливістю комплексної механізації основних виробничих процесів, відносно нижчою собівартістю видобування порівняно з підземним способом у сприятливих гірничо-геологічних умовах, а також можливістю використання потужного бурового, виймально-навантажувального, транспортного та допоміжного обладнання. Відкритий спосіб розробки особливо поширений при видобутку залізних руд, вугілля, руд кольорових металів, нерудної будівельної сировини та інших корисних копалин, які залягають на відносно доступних глибинах або мають значні промислові запаси. Сучасний стан відкритих гірничих робіт у світі визначається потребами металургійної, енергетичної, будівельної та машинобудівної галузей у стабільному забезпеченні мінеральною сировиною. Особливе значення має видобуток залізних руд, оскільки вони є основною сировиною для виробництва сталі. За даними World Steel Association, світове виробництво сталі у 2025 році становило 1849,4 млн т, що свідчить про збереження високого попиту на залізорудну сировину та необхідність стабільної роботи великих гірничодобувних підприємств. Світова сировинна база залізорудної промисловості залишається значною. За оцінками U.S. Geological Survey, світовий видобуток товарної залізної руди у 2025 році становив близько 2,6 млрд т, а світові ресурси залізної руди оцінюються більш ніж у 900 млрд т руди, що містить понад 260 млрд т заліза. Провідними країнами-виробниками залізної руди залишаються Австралія, Бразилія, Китай, Індія, Росія, Південна Африка та Україна. Така структура світового виробництва свідчить про важливу роль великих кар'єрних підприємств, які забезпечують масове видобування, транспортування, подрібнення, збагачення та підготовку залізорудної продукції для подальшого використання в металургії. Розвиток відкритих гірничих робіт у світі характеризується не лише збільшенням масштабів виробництва, а й підвищенням

вимог до ефективності, безпеки та екологічності гірничого виробництва. Сучасні кар'єри функціонують як складні виробничі системи, у яких взаємопов'язані процеси буріння, підривання, виймання, навантаження, транспортування, складування, дроблення та подальшої переробки корисної копалини. Ефективність роботи таких систем залежить від раціонального вибору технологічних схем, узгодженості продуктивності основного обладнання, мінімізації простоїв, оптимізації транспортних маршрутів і впровадження автоматизованих систем управління гірничими роботами. Однією з основних тенденцій розвитку відкритого гірництва є збільшення глибини кар'єрів і ускладнення умов розробки родовищ. У міру відпрацювання верхніх горизонтів зростає відстань транспортування гірничої маси, збільшується висота підйому вантажів, ускладнюється підтримання транспортних комунікацій і підвищуються вимоги до стійкості бортів кар'єру. Це призводить до зростання витрат на транспортування, яке в багатьох випадках становить значну частину загальної собівартості відкритих гірничих робіт. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають питання оптимізації транспортних схем, вибору раціонального типу транспорту, застосування комбінованих автомобільно-залізничних або автомобільно-конвеєрних систем, а також удосконалення організації взаємодії екскаваторного і транспортного обладнання. Важливим напрямом сучасного розвитку відкритих гірничих робіт є цифровізація та автоматизація виробничих процесів. На великих кар'єрах дедалі ширше застосовуються системи диспетчеризації гірничого транспорту, супутникового позиціонування техніки, дистанційного моніторингу роботи обладнання, контролю витрат палива, управління якістю рудної сировини та моделювання розвитку гірничих робіт. Такі технології дають змогу підвищити точність планування, зменшити непродуктивні простої, покращити використання робочого часу обладнання та забезпечити більш стабільну роботу гірничого підприємства. Окрему увагу у світовій практиці приділено підвищенню безпеки відкритих гірничих робіт. Основними джерелами небезпеки на кар'єрах є робота великогабаритного мобільного обладнання, рух автосамоскидів по кар'єрних дорогах, буровибухові роботи, можливі деформації бортів і уступів,

пиловиділення, шум, вібрація, а також дія несприятливих кліматичних факторів. У зв'язку з цим сучасні гірничодобувні компанії впроваджують системи попередження зіткнень, контролю технічного стану машин, моніторингу стійкості бортів, автоматизованого контролю небезпечних зон і комплексного управління виробничими ризиками. Екологічний аспект також є одним із ключових у розвитку відкритого гірництва. Відкрита розробка родовищ супроводжується порушенням земель, утворенням відвалів розкривних порід, зміною природного рельєфу, пиловими викидами, шумовим навантаженням, впливом на поверхневі та підземні води. Тому сучасні вимоги до гірничих підприємств передбачають застосування технологічних заходів з пилопригнічення, очищення та повторного використання води, раціонального розміщення відвалів, моніторингу стану довкілля, а також поетапної або завершальної рекультивації порушених земель. У світовій практиці дедалі більшого значення набувають питання декарбонізації гірничого транспорту, зменшення споживання дизельного палива та переходу до менш шкідливих або беземісійних транспортних рішень. За даними ICMM, у світі експлуатується близько 28 тис. великих кар'єрних самоскидів, які разом споживають значні обсяги дизельного палива та формують суттєві викиди CO₂, що пояснює актуальність переходу до cleaner and safer vehicles у гірничій галузі. Для України відкриті гірничі роботи мають особливо важливе значення, оскільки значна частина залізорудної сировинної бази країни зосереджена у Криворізькому залізорудному басейні та суміжних залізорудних районах. Україна має великі запаси залізної руди та належить до важливих виробників залізорудної продукції. За оцінками U.S. Geological Survey, у 2025 році видобуток товарної залізної руди в Україні становив близько 52 млн т, а запаси оцінювалися на рівні 76,5 млрд т сирої руди та 72,3 млрд т заліза за відповідною класифікацією джерела. Це підтверджує значний потенціал вітчизняної залізорудної галузі та необхідність подальшого розвитку технологій відкритої розробки родовищ. Водночас сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні визначається впливом складних зовнішніх чинників. До них належать воєнні ризики, нестабільність енергопостачання, логістичні обмеження, зміна експортних маршрутів, коливання попиту на металургійну продукцію та

необхідність адаптації підприємств до нових умов господарювання. Для гірничо-збагачувальних комбінатів особливого значення набувають підвищення енергоефективності, оптимізація витрат на транспортування, раціональне використання обладнання, підтримання якості залізорудної продукції та забезпечення безперервності технологічних процесів. За даними Metinvest, у 2025 році виробництво залізорудного концентрату групи залишалося на значному рівні, хоча діяльність підприємств продовжувала залежати від виробничих, логістичних та енергетичних факторів. У сучасних умовах розвиток українських залізорудних кар'єрів має бути спрямований на поєднання виробничої ефективності з безпекою та екологічною відповідальністю. Важливими напрямками є вдосконалення систем розкриття глибоких горизонтів, раціоналізація транспортних схем, підвищення продуктивності виймально-навантажувального обладнання, зменшення простоїв техніки, застосування сучасних методів планування гірничих робіт, підвищення якості буровибухової підготовки порід і забезпечення стабільної роботи технологічних ланок кар'єру. Отже, сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі характеризується високою роллю кар'єрного способу розробки у забезпеченні промисловості мінеральною сировиною, значними масштабами видобутку залізних руд, ускладненням гірничо-геологічних умов, зростанням глибини кар'єрів, посиленням вимог до безпеки та охорони довкілля. Для залізорудних підприємств України, зокрема ПрАТ «ЦГЗК», актуальними залишаються питання підвищення ефективності видобувних робіт, оптимізації транспортних процесів, раціонального використання запасів корисної копалини та впровадження технологічних рішень, спрямованих на стабільну й безпечну роботу кар'єрів.

1.2. Характеристика технологій видобутку та транспортування гірничої маси в сучасних кар'єрах

Технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин являє собою сукупність взаємопов'язаних виробничих процесів, спрямованих на підготовку гірських порід до виймання, відокремлення корисної копалини і розкривних порід

від масиву, їх навантаження, транспортування, складування або подальшу переробку. У сучасних кар'єрах ці процеси розглядаються не відокремлено, а як єдина технологічна система, ефективність якої визначається узгодженістю роботи бурового, вибухового, виймально-навантажувального, транспортного, відвального та допоміжного обладнання. Основними технологічними процесами відкритих гірничих робіт є підготовка гірських порід до виймання, виймально-навантажувальні роботи, транспортування гірничої маси, відвалоутворення розкривних порід, складування або подача корисної копалини на дроблення і збагачення. Крім основних процесів, важливе значення мають допоміжні роботи: утримання кар'єрних доріг, водовідведення, електропостачання, ремонт і технічне обслуговування обладнання, пилопригнічення, маркшейдерське забезпечення, контроль стійкості бортів і уступів, а також організація безпечного руху техніки. Підготовка гірських порід до виймання є початковою ланкою технологічного процесу відкритої розробки. Її призначення полягає у створенні таких умов, за яких гірнича маса може бути ефективно вийнята, навантажена і транспортована. Спосіб підготовки порід до виймання залежить від їх фізико-механічних властивостей, міцності, тріщинуватості, абразивності, щільності, ступеня вивітрювання та умов залягання. М'які та пухкі породи можуть розроблятися без попереднього руйнування масиву, тоді як щільні, напівскельні та скельні породи, характерні для багатьох залізрудних родовищ, потребують попереднього розпушення. Найпоширенішим способом підготовки міцних скельних порід до виймання є буровибуховий спосіб. Він передбачає буріння свердловин, розміщення в них зарядів вибухових речовин, ініціювання вибуху та утворення розпушеної гірничої маси. Якість буровибухових робіт має безпосередній вплив на ефективність наступних технологічних процесів. Надмірно крупна гірнича маса ускладнює роботу екскаваторів, збільшує тривалість навантаження і може потребувати вторинного дроблення. Надмірне подрібнення, навпаки, може спричинити збільшення пиловиділення, втрати корисної копалини та погіршення умов транспортування. Тому параметри буровибухових робіт повинні забезпечувати оптимальний гранулометричний склад підірваної маси, достатню ширину розвалу,

мінімальне порушення законтурного масиву і безпечні умови подальшої роботи обладнання. Для залізорудних кар'єрів, де корисна копалина і вміщуючі породи часто мають високу міцність та абразивність, буровибухова підготовка є одним із ключових процесів. Вона визначає продуктивність екскаваторів, рівномірність завантаження транспортних засобів, витрати на подрібнення, а також стабільність роботи дробильно-збагачувального комплексу. У сучасних умовах підвищується значення точного буріння, застосування неелектричних систем ініціювання, оптимізації сітки свердловин, використання безпечніших вибухових речовин і контролю сейсмічного впливу вибухів на борти кар'єру та прилеглу територію. Після підготовки порід до виймання виконуються виймально-навантажувальні роботи. Їх сутність полягає у відокремленні гірничої маси від вибою, її захопленні робочим органом машини та навантаженні у транспортні засоби або переміщенні у відвал. Основним обладнанням для виконання цих робіт у сучасних кар'єрах є одноковшові екскаватори, гідравлічні екскаватори, фронтальні навантажувачі, роторні комплекси та драглайни. Вибір конкретного типу обладнання залежить від гірничо-геологічних умов, міцності порід, висоти уступу, потужності корисної копалини, масштабу виробництва, виду транспорту і прийнятої системи розробки. На великих залізорудних кар'єрах значного поширення набули кар'єрні екскаватори типу механічної лопати. Вони характеризуються значною місткістю ковша, високою продуктивністю, здатністю працювати з міцною розпушеною гірничою масою і придатністю для масового навантаження руди та скельних розкривних порід. Такі екскаватори ефективні за умов стабільного фронту робіт, достатньої ширини робочого майданчика і значних обсягів навантаження. Їх застосування дає змогу забезпечити високу інтенсивність гірничих робіт, але потребує раціональної організації транспортного обслуговування, оскільки простої автосамоскидів або залізничного транспорту безпосередньо знижують продуктивність екскаваторного комплексу. Гідравлічні екскаватори відзначаються більшою маневреністю, гнучкістю та здатністю працювати у складніших умовах вибою. Вони можуть ефективно застосовуватися на обмежених робочих майданчиках, при змінній конфігурації фронту робіт, під час селективного

виймання корисної копалини або при роботі на нижніх горизонтах глибоких кар'єрів. Фронтальні навантажувачі використовуються переважно для допоміжних, складських, навантажувальних і планувальних робіт, а також у кар'єрах меншої продуктивності або на перевантажувальних пунктах. Драглайни доцільні для розробки і переміщення порід у відвал, особливо при значних обсягах розкривних робіт у відповідних гірничо-геологічних умовах. Важливим показником ефективності виймально-навантажувальних робіт є відповідність параметрів екскаватора параметрам уступу та транспортних засобів. Висота уступу повинна забезпечувати безпечну і продуктивну роботу екскаватора, а ширина робочого майданчика — можливість розміщення обладнання, транспортних комунікацій і безпечного маневрування машин. Місткість ковша екскаватора має бути узгоджена з вантажопідйомністю автосамоскида або місткістю залізничного вагона. Недостатня місткість ковша збільшує кількість циклів навантаження, а надмірна — може призвести до нераціонального використання транспортних засобів або перевантаження обладнання. Транспортування гірничої маси є однією з найбільш відповідальних і витратних ланок відкритої розробки. Його призначення полягає у переміщенні корисної копалини від вибоїв до дробильних установок, складів, перевантажувальних пунктів або збагачувальних фабрик, а розкривних порід — до зовнішніх або внутрішніх відвалів. У сучасних кар'єрах використовують автомобільний, залізничний, конвеєрний, скіповий, гідравлічний і комбінований транспорт, однак найбільше практичне значення для залізрудних кар'єрів мають автомобільний, залізничний, конвеєрний та комбіновані транспортні схеми. Автомобільний транспорт є одним із найпоширеніших видів кар'єрного транспорту. Його перевагами є висока маневреність, можливість роботи на тимчасових і змінних трасах, здатність долати значні ухили, швидке пристосування до зміни фронту робіт і відносно проста організація перевезень. Автосамоскиди можуть безпосередньо обслуговувати екскаваторні вибої, працювати на різних горизонтах і забезпечувати доставку гірничої маси до перевантажувальних пунктів, дробарок або відвалів. Саме тому автомобільний транспорт широко застосовується на нижніх горизонтах глибоких кар'єрів, у складних умовах розвитку гірничих

робіт і при необхідності оперативної зміни маршрутів. Разом з тим автомобільний транспорт має певні недоліки. До них належать значні витрати на паливо, технічне обслуговування і ремонт, залежність продуктивності від стану кар'єрних доріг, підвищене пиловиділення, шум, викиди від двигунів внутрішнього згоряння, а також необхідність забезпечення безпеки руху великогабаритної техніки. Зі збільшенням глибини кар'єру та відстані транспортування експлуатаційні витрати автомобільного транспорту зростають, що зумовлює потребу у пошуку раціональніших транспортних схем або поєднанні автомобільного транспорту з іншими видами транспорту. Залізничний транспорт доцільно застосовувати на великих кар'єрах із значними і стабільними вантажопотоками. Його перевагами є висока провізна здатність, економічність при масових перевезеннях, менші питомі витрати енергії на переміщення вантажів порівняно з автомобільним транспортом на значних відстанях, а також можливість організації регулярного перевезення великих обсягів руди і розкривних порід. Залізничний транспорт ефективний за умов стабільних напрямів вантажопотоків, достатньої протяжності транспортних комунікацій і можливості облаштування колійного господарства. Недоліками залізничного транспорту є значні капітальні витрати на будівництво та підтримання колій, менша гнучкість порівняно з автомобільним транспортом, обмеження за ухилами, складність перенесення трас при зміні фронту робіт і необхідність значних площ для розміщення залізничних колій та роз'їздів. У зв'язку з цим залізничний транспорт часто використовується на верхніх горизонтах, основних магістральних напрямках або для перевезення гірничої маси від перевантажувальних пунктів до збагачувальних фабрик і відвалів. Конвеєрний транспорт належить до безперервних видів транспортування і є ефективним при стабільних вантажопотоках, значних обсягах переміщення гірничої маси та тривалому строку експлуатації транспортної схеми. Його перевагами є безперервність роботи, можливість автоматизації, менші експлуатаційні витрати на одиницю вантажу при значних обсягах перевезення, зниження викидів від дизельного транспорту та висока енергоефективність. Конвеєрний транспорт особливо перспективний у поєднанні з дробильними комплексами, коли гірничо

маса попередньо подрібнюється до розміру, придатного для транспортування стрічковими конвеєрами. Основними недоліками конвеєрного транспорту є обмежена мобільність, складність перенесення трас, значні початкові капітальні витрати, залежність від гранулометричного складу гірничої маси і необхідність надійної роботи дробильних установок. Через це конвеєрний транспорт не завжди може повністю замінити автомобільний або залізничний, але є ефективним елементом комбінованих схем, особливо на глибоких кар'єрах, де потрібно зменшити витрати на підйом і транспортування гірничої маси. Комбіновані транспортні схеми поєднують переваги кількох видів транспорту і широко застосовуються у практиці сучасного відкритого гірництва. Найбільш поширеними є автомобільно-залізничні, автомобільно-конвеєрні та автомобільно-дробильно-конвеєрні схеми. У таких системах автомобільний транспорт забезпечує мобільність на робочих горизонтах і доставку гірничої маси до перевантажувального пункту, після чого подальше транспортування виконується залізничним або конвеєрним транспортом. Це дає змогу зменшити середню відстань автомобільного перевезення, скоротити витрати палива, підвищити ефективність використання автосамоскидів і забезпечити більш раціональну організацію вантажопотоків. Особливе значення для ефективності сучасного кар'єру має узгодженість роботи виймально-навантажувального і транспортного обладнання. Екскаватор не може працювати з повною продуктивністю без своєчасної подачі транспортних засобів, а транспортний парк не може бути ефективно використаний при нерівномірній роботі вибоїв, затримках навантаження або нераціональних маршрутах руху. Тому при організації технологічного процесу необхідно визначати оптимальну кількість транспортних засобів на один екскаватор, тривалість навантаження, час руху з вантажем і без вантажу, час розвантаження, простої в очікуванні та загальну тривалість транспортного циклу. Для залізрудних кар'єрів оптимізація видобувно-транспортного комплексу має особливо важливе значення, оскільки обсяги переміщення руди і розкривних порід є значними, а гірничі роботи часто ведуться в умовах великої глибини кар'єру, складної конфігурації бортів і високих вимог до

якості рудної сировини. Раціональна технологія видобутку та транспортування повинна забезпечувати безперервність подачі руди на переробку, своєчасне видалення розкривних порід, безпечний розвиток гірничих робіт, мінімізацію простоїв обладнання і зниження питомих витрат на переміщення гірничої маси. Таким чином, технології видобутку та транспортування гірничої маси в сучасних кар'єрах формують єдину виробничу систему, ефективність якої залежить від правильного вибору способу підготовки порід до виймання, типу виймально-навантажувального обладнання, виду кар'єрного транспорту та організації взаємодії між основними технологічними процесами. Для умов розробки залізрудних родовищ найбільш характерними є буровибухова підготовка міцних скельних порід, застосування продуктивного екскаваторного обладнання та використання автомобільного, залізничного або комбінованого транспорту. Подальше підвищення ефективності відкритих гірничих робіт пов'язане з оптимізацією видобувно-транспортних процесів, удосконаленням схем розкриття і транспортування, підвищенням безпеки робіт та зменшенням негативного впливу кар'єрного виробництва на навколишнє середовище.

1.3. Проблеми та тенденції розвитку відкритих гірничих робіт з аналізом сучасних фахових джерел за обраною науковою проблематикою. Інформація про характеристику гірничо-збагачувального підприємства ПрАТ «ЦГЗК»

Сучасний розвиток відкритих гірничих робіт відбувається в умовах зростання вимог до ефективності, безпеки, екологічності та технологічності гнучкості гірничого виробництва. Для кар'єрів, що розробляють залізрудні родовища, особливого значення набувають питання раціональної організації видобувних робіт, оптимального використання виймально-навантажувального і транспортного обладнання, зниження собівартості переміщення гірничої маси, стабілізації якості рудної сировини та забезпечення безперервності виробничого процесу. У зв'язку з цим проблема оптимізації видобувних робіт є однією з найбільш актуальних для сучасних залізрудних кар'єрів. Однією з основних проблем відкритого гірництва є поступове ускладнення гірничо-геологічних і

гірничо-технічних умов розробки родовищ. У міру відпрацювання верхніх горизонтів кар'єри поглиблюються, збільшується довжина транспортних комунікацій, зростає висота підйому гірничої маси, ускладнюються умови розкриття нових горизонтів і підвищуються вимоги до стійкості бортів. Для глибоких кар'єрів це призводить до збільшення питомих витрат на транспортування, зниження маневреності транспортної системи, підвищення навантаження на кар'єрні дороги та необхідності більш точного планування розвитку гірничих робіт. Важливим фактором, що впливає на ефективність відкритих гірничих робіт, є висока частка транспортних витрат у загальній собівартості видобування. Транспортування руди та розкривних порід часто є найбільш витратною ланкою технологічного процесу, особливо в умовах значної глибини кар'єру та великих відстаней перевезення. У зв'язку з цим значного поширення набуває застосування комбінованих транспортних схем, зокрема автомобільно-залізничних та автомобільно-конвеєрних. Такі схеми дозволяють поєднати мобільність автомобільного транспорту на робочих горизонтах з економічністю залізничного або конвеєрного транспорту на магістральних напрямках. Ще однією проблемою є необхідність узгодження продуктивності основних технологічних ланок кар'єру. Неефективна взаємодія між буровибуховими, виймально-навантажувальними та транспортними роботами може призводити до простоїв обладнання, нерівномірної подачі гірничої маси, перевитрат палива, збільшення часу транспортного циклу та зниження загальної продуктивності кар'єру. Тому оптимізація видобувних робіт повинна розглядатися не лише як вибір окремого виду обладнання, а як комплексне вдосконалення всієї технологічної системи: від підготовки гірських порід до виймання до доставки корисної копалини на подальшу переробку. Суттєвою проблемою сучасного відкритого гірництва є забезпечення промислової безпеки. Відкриті гірничі роботи пов'язані з експлуатацією великогабаритного мобільного обладнання, виконанням бурових і вибухових робіт, рухом транспорту по кар'єрних дорогах, роботою на уступах, можливістю деформації бортів, впливом пилу, шуму, вібрації та несприятливих погодних умов. За даними міжнародних галузевих організацій,

значна частина ризиків у гірничій промисловості пов'язана саме з мобільним обладнанням і транспортними взаємодіями. Тому сучасні тенденції розвитку галузі передбачають впровадження систем попередження зіткнень, моніторингу технічного стану машин, контролю руху транспорту, автоматизованої диспетчеризації та управління виробничими ризиками. Не менш важливим напрямом є екологізація гірничого виробництва. Відкрита розробка родовищ супроводжується утворенням відвалів, порушенням земель, запиленням повітря, шумовим навантаженням, зміною режиму поверхневих і підземних вод, а також утворенням значних обсягів відходів гірничого виробництва. У сучасних умовах гірничі підприємства повинні не лише забезпечувати виконання виробничої програми, а й впроваджувати технологічні заходи з охорони навколишнього середовища: пилопригнічення, організоване водовідведення, очищення і повторне використання води, контроль стану атмосферного повітря, раціональне розміщення відвалів, рекультивацію порушених земель і моніторинг впливу на довкілля. Однією з провідних світових тенденцій є декарбонізація кар'єрного транспорту. Кар'єрні самоскиди великої вантажопідйомності споживають значні обсяги дизельного палива та формують суттєві викиди парникових газів. У зв'язку з цим у світовій практиці зростає інтерес до електрифікації гірничого транспорту, використання тролейвозних систем, акумуляторних самоскидів, водневих технологій і cleaner and safer vehicles. Такі рішення поки що потребують значних капітальних витрат і відповідної інфраструктури, однак вони поступово стають важливим напрямом підвищення енергоефективності та екологічної безпеки відкритих гірничих робіт. Важливою тенденцією розвитку відкритого гірництва є цифровізація виробничих процесів. Сучасні кар'єри дедалі частіше використовують системи диспетчерського управління транспортом, GPS-моніторинг техніки, цифрове моделювання гірничих робіт, автоматизований облік продуктивності обладнання, системи контролю витрат палива та програмні комплекси для планування розвитку кар'єру. Цифрові технології дають змогу оперативно отримувати інформацію про роботу обладнання, виявляти простої, аналізувати транспортні цикли, оптимізувати маршрути руху автосамоскидів і

підвищувати точність планування гірничих робіт. У межах аналізу сучасних фахових джерел за темою дослідження доцільно виділити кілька основних науково-технічних напрямів, які безпосередньо пов'язані з оптимізацією видобувних робіт у глибоких залізородних кар'єрах. До таких напрямів належать цифрове моделювання родовищ і кар'єрного простору, удосконалення планування відкритих гірничих робіт, оптимізація параметрів уступів і бортів, підвищення якості буровибухової підготовки, раціоналізація транспортних схем, зменшення енергетичних витрат, екологізація гірничого виробництва, прогнозування технічного стану обладнання та використання цифрових двійників. У праці М. Kunytska, A. Lunov, A. Panasiuk, S. Iskov, V. Shlapak [19] розглянуто цифрове моделювання системи організації відкритих гірничих робіт. Цінність цього джерела для даної КБР полягає в тому, що автори показують можливість створення цифрових моделей родовища, кар'єрного простору, технологічних блоків і якості корисної копалини. Для розробки Петрівського родовища це важливо, оскільки оптимізація видобувних робіт потребує не лише розрахунку окремих параметрів, а й просторового розуміння будови родовища, напрямів розвитку фронту робіт, розміщення уступів, транспортних комунікацій і виробничих зон. У статті О. Г. Денисюка та А. В. Панасюка [20] досліджено цифровізацію гірничих підприємств в умовах розвитку Індустрії 4.0. Автори приділяють увагу цифровій трансформації гірничого виробництва, застосуванню сучасних інформаційних технологій, підвищенню продуктивності праці, безпеки та екологічності виробництва. Для теми роботи це джерело є важливим тому, що оптимізація видобувних робіт у сучасному кар'єрі не може обмежуватися лише вибором обладнання або розрахунком геометричних параметрів. Вона має включати цифровий облік роботи техніки, контроль простоїв, диспетчеризацію транспорту, аналіз виробничих показників і підтримку прийняття управлінських рішень. Загальні теоретичні основи відкритого способу розробки корисних копалин розглянуто у праці Н. Altit, R. Alrawashdeh та Н. Alnawafleh [21]. У цьому джерелі висвітлено основні елементи відкритого кар'єру, параметри кар'єрних уступів, способи виймання розкривних порід, стійкість бортів, виробничий цикл відкритого кар'єру, питання закриття і

рекультивациі. Для даної КБР це джерело використовується як загальна теоретична основа для обґрунтування відкритої системи розробки, параметрів уступів, організації виймально-навантажувальних і транспортних процесів. Екологічний аспект відкритої розробки родовищ розкрито у дослідженні М. Zarubin та співавторів [22], де запропоновано програмний модуль для оцінки впливу кар'єрів на навколишнє середовище. Для даної роботи це джерело є цінним у частині обґрунтування необхідності екологічного контролю, оцінки впливу відкритих гірничих робіт, раціонального водовідведення, пилопригнічення, формування відвалів і рекультивациі порушених земель. Це безпосередньо пов'язано з третім розділом КБР, у якому розглянуто екологічні аспекти відкритої розробки. Питання прогнозування гранулометричного складу гірничої маси після вибуху розглянуто у праці С. Xie, Н. Nguyen, Х. N. Vui та інших авторів [23]. У дослідженні застосовано методи машинного навчання і м'яких обчислень для прогнозування розміру кусків породи після підривання. Для теми КБР це джерело важливе тому, що якість буровибухової підготовки безпосередньо впливає на продуктивність екскаваторів, тривалість навантаження, кількість негабариту, ефективність транспортування і подальше дроблення руди. Отже, оптимізація БВР є одним із ключових напрямів підвищення ефективності видобувних робіт. У роботі S. Utili, A. Agosti, N. Morales та інших авторів [24] досліджено оптимальні форми бортів кар'єрів з урахуванням фінансового результату та зменшення вуглецевого сліду. Це джерело є цінним для КБР, оскільки воно показує взаємозв'язок між геометрією кар'єру, стійкістю бортів, економічною ефективністю та екологічними показниками. Для Петрівського родовища питання параметрів бортів і уступів має важливе значення у зв'язку зі значною глибиною розробки та необхідністю безпечного розвитку гірничих робіт. У статті В. Yu. Sobko, О. V. Lozhnikov, М. О. Chebanov, D. V. Vinivitin [25] обґрунтовано оптимальні параметри елементів уступів і укосів залізрудних кар'єрів. Для даної роботи це джерело має особливу практичну цінність, оскільки воно безпосередньо стосується залізрудних кар'єрів і дозволяє обґрунтовувати висоту уступів, кути укосів, параметри робочих майданчиків та безпечне формування бортів. Ці питання пов'язані з розрахунковою частиною КБР,

де визначаються параметри уступів, системи розробки та кінцевої глибини умовного кар'єру. У праці О. О. Анісімова та Н. В. Баряцької [26] розглянуто вдосконалення поточного планування процесів гірничих робіт в умовах залізрудних кар'єрів України. Це джерело важливе для теми КБР, оскільки Петрівське родовище належить до залізрудної сировинної бази України, а ефективність його розробки значною мірою залежить від узгодження видобувних, розкривних, транспортних і відвальних робіт. Поточне планування дає змогу забезпечити необхідний фронт робіт, стабільну продуктивність, своєчасне розкриття горизонтів і раціональне використання обладнання. У статті Н. Баряцької, С. Луценка, Ю. Григор'єва, О. Плотнікова, Н. Сафронової [27] розглянуто проектування та планування відкритих гірничих робіт у програмному забезпеченні Micromine Beyond. Для даної КБР це джерело важливе як приклад використання спеціалізованого програмного забезпечення для планування кар'єрів, визначення контурів, моделювання розвитку гірничих робіт і прийняття проектних рішень. Такий підхід є актуальним для оптимізації видобувних робіт, оскільки дозволяє підвищити точність планування та узгодити гірничо-геологічні, технологічні й економічні параметри. Проблему визначення перспективних меж залізрудних кар'єрів розглянуто у праці S. Lutsenko, Y. Hryhoriev, V. Peregudov та інших авторів [28]. Для даної роботи це джерело має значення при обґрунтуванні кінцевих контурів кар'єру, граничної глибини розробки, обсягів корисної копалини та розкривних порід. У розрахунковій частині КБР визначаються геометричні параметри умовного кар'єру, тому дослідження щодо перспективних меж відкритої розробки є важливим методичним орієнтиром. У статті E. Purhamadani, R. Bagherpour, H. Tudeshki [29] розглянуто енергоспоживання у відкритих гірничих роботах і можливості зменшення витрат енергії на транспортування за рахунок використання внутрішньокар'єрних дробильних систем. Для даної роботи це джерело важливе тому, що транспортна ланка є однією з найбільш витратних у глибоких кар'єрах. У КБР розглядається автомобільний транспорт у розрахунковій частині та комбінована автомобільно-залізнична схема за матеріалами ПрАТ «ЦГЗК», тому питання скорочення транспортного плеча, зменшення витрат палива

й оптимізації транспортного циклу є безпосередньо пов'язаними з темою дослідження. У праці P. Shcherbakov, S. Tymchenko, S. Moldabayev, M. Amankulov, D. Babets [30] розглянуто математичне обґрунтування та створення інформаційних засобів для оптимального керування буровибуховими роботами у кар'єрі. Для даної КБР це джерело має значення при обґрунтуванні параметрів БВР, виборі бурового обладнання, оцінці впливу якості підривання на екскавацію і транспортування. Оптимізація буровибухових робіт дозволяє зменшити кількість негабариту, покращити умови роботи екскаваторів і підвищити стабільність усього екскаваторно-транспортного комплексу. У дослідженні Y. Hryhoriev, S. Lutsenko, A. Kuttybayev, A. Ermekkali, V. Shamrai [31] розглянуто вплив продуктивності кар'єру на економічні показники гірничої розробки. Це джерело є корисним для КБР, оскільки у розрахунковій частині визначається проєктна продуктивність умовного кар'єру, строк його експлуатації та обсяги гірничої маси. Зв'язок продуктивності з економічними показниками підтверджує, що оптимізація видобувних робіт має оцінюватися не лише за технічними, а й за організаційно-економічними критеріями. Дослідження V. Morkun та співавторів [32; 33] присвячені ідентифікації мінералогічних різновидів руд із застосуванням ультразвукових вимірювань і методів нечіткої кластеризації. Для теми КБР ці джерела важливі з точки зору контролю якості рудної сировини, розділення технологічних різновидів руди та зменшення втрат і засмічення. Умови розробки залізорудного родовища потребують не лише механічного видобутку руди, а й забезпечення стабільної якості сировини, яка надходить на подальшу переробку. У праці M. Mirzehi та A. Moradi [34] розглянуто стале довгострокове планування відкритих кар'єрів із одночасним урахуванням економічної та екологічної оптимізації. Це джерело має значення для роботи, оскільки розробка родовища повинна забезпечувати не тільки виконання виробничої програми, а й раціональне використання запасів, зменшення впливу на навколишнє середовище, ефективне розміщення відвалів і підготовку до рекультивації. У працях, присвячених цифровим двійникам і штучному інтелекту в гірничих операціях [35; 41; 42; 43; 46], розглянуто можливості створення цифрових моделей виробничих систем,

прогнозування стану обладнання, управління життєвим циклом активів, аналізу технологічних процесів і підтримки прийняття управлінських рішень. Для даної КБР ці джерела мають значення при визначенні перспективних напрямів оптимізації видобувних робіт, зокрема підвищення технічної готовності обладнання, зниження простоїв, покращення планування ремонтів і контролю роботи екскаваторно-транспортного комплексу. У джерелах [36; 37; 38; 39] розглянуто використання інтернету речей, машинного навчання та прогнозних моделей для технічного обслуговування промислового обладнання, прогнозування відмов конвеєрних систем, контролю зношування бурового інструменту і формування стратегій ремонтів. Для умов кар'єрного виробництва це важливо, оскільки бурові верстати, екскаватори, автосамоскиди, залізничний транспорт і допоміжне обладнання працюють у складних умовах навантаження, пилу, вібрації та змінного режиму. Зменшення аварійних простоїв і прогнозування технічного стану машин є важливою складовою оптимізації видобувних робіт. Окрему групу становлять джерела, пов'язані з адаптацією виробничої системи гірничого комплексу до нестабільних зовнішніх умов, цифровізацією через K-MINE, динамічним проєктуванням техніко-економічних показників і застосуванням цифрових технологій моделювання відкритих гірничих робіт [48; 49; 50]. Для теми КБР ці дослідження є важливими, оскільки сучасна розробка залізрудних родовищ відбувається в умовах змінної кон'юнктури ринку, енергетичних ризиків, логістичних обмежень і необхідності швидкої адаптації виробничих планів. Тому оптимізація видобувних робіт повинна включати не лише технічні розрахунки, а й можливість гнучкого планування, цифрового контролю та оперативного коригування виробничих рішень. Таким чином, аналіз сучасних фахових джерел свідчить, що оптимізація видобувних робіт у залізрудних кар'єрах має комплексний характер. Вона охоплює цифрове моделювання родовища і кар'єрного простору, удосконалення параметрів уступів і бортів, підвищення якості буровибухової підготовки, раціональну організацію екскаваторно-транспортного комплексу, зменшення енергетичних витрат на транспортування, прогнозування технічного стану обладнання, екологізацію виробництва та

забезпечення безпеки праці. Для розробки Петрівського родовища ці напрями мають практичне значення, оскільки дозволяють пов'язати розрахункові параметри умовного кар'єру з реальними технологічними процесами: буровибуховими роботами, виймально-навантажувальними роботами, транспортуванням гірничої маси, відвалоутворенням і рекультивацією порушених земель. Таким чином, аналіз сучасних фахових джерел свідчить, що оптимізація видобувних робіт у залізорудних кар'єрах має комплексний характер. Вона охоплює цифрове моделювання родовищ і кар'єрів, удосконалення параметрів уступів і бортів, підвищення якості буровибухової підготовки, раціональну організацію екскаваторно-транспортного комплексу, використання цифрових двійників і систем диспетчеризації, прогнозування технічного стану обладнання, екологізацію виробництва та забезпечення безпеки праці. Саме тому при розробці Петрівського родовища залізних руд і обґрунтуванні видобувних робіт у кар'єрі № 3 доцільно враховувати не лише традиційні технологічні розрахунки, а й сучасні напрями цифрової, екологічної та організаційної оптимізації відкритих гірничих робіт. Значний вплив на розвиток відкритих гірничих робіт має стан світового ринку сталі та залізорудної сировини. За даними World Steel Association, попит на сталь у різних регіонах світу змінюється нерівномірно: у Китаї спостерігається тенденція до зниження попиту, тоді як у країнах, що розвиваються, за межами Китаю прогнозується зростання. Це означає, що гірничодобувні підприємства повинні бути готовими до нестабільності кон'юнктури, зміни вимог споживачів, коливання цін на залізорудну продукцію та необхідності підвищення конкурентоспроможності. Для залізорудних підприємств це посилює значення оптимізації витрат, стабілізації якості продукції та гнучкого управління виробничими процесами. Для України проблеми розвитку відкритих гірничих робіт мають додаткову специфіку. На роботу гірничо-металургійного комплексу впливають воєнні ризики, стан енергетичної інфраструктури, логістичні обмеження, зміна експортних маршрутів, дефіцит окремих ресурсів, коливання попиту на металургійну продукцію та необхідність адаптації підприємств до складних умов господарювання. У таких умовах особливого значення набувають

енергоефективність, надійність транспортних схем, раціональне використання обладнання, зменшення простоїв, підвищення безпеки робіт і стабільне забезпечення збагачувальних фабрик рудною сировиною. Одним із важливих підприємств залізорудної промисловості України є Приватне акціонерне товариство «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» — ПрАТ «ЦГЗК». Підприємство входить до складу Групи Метінвест і є одним із найбільших українських виробників залізорудної продукції. Основною спеціалізацією комбінату є видобуток, переробка та виробництво сировини для металургійної промисловості, насамперед залізорудного концентрату та окатків. Продукція підприємства використовується в металургійному виробництві та має важливе значення для забезпечення сировинної бази чорної металургії. Згідно з офіційними матеріалами підприємства, виробнича потужність ПрАТ «ЦГЗК» становить 4,7 млн т концентрату та 2,3 млн т окатків на рік. Комбінат системно працює над модернізацією обладнання, зменшенням енергоємності та собівартості продукції, впровадженням енергоефективних і виробничих технологій. На підприємстві створено технологічну лінію з виробництва високоякісних окатків для технології прямого відновлення заліза з вмістом заліза понад 67 %, а комплекс обладнання дозволяє виробляти концентрат із масовою часткою заліза до 70,5 %. Виробнича діяльність ПрАТ «ЦГЗК» пов'язана з повним технологічним циклом отримання залізорудної продукції: від видобутку руди до її переробки, збагачення та виробництва товарної продукції. Підприємство виготовляє залізорудний концентрат і окатки, які відповідають вимогам подальшої металургійної переробки. За офіційною інформацією, ЦГЗК виробляє преміальний концентрат із масовою часткою заліза понад 68 % та високоякісні окатки з вмістом заліза 67,5 %. Окатки можуть використовуватися у доменному виробництві, а також у технологіях прямого відновлення заліза, що є важливим з огляду на сучасні тенденції розвитку низьковуглецевої металургії. Для теми даної кваліфікаційної бакалаврської роботи особливе значення має кар'єр № 3, пов'язаний з розробкою Петрівського родовища залізних руд. Саме цей об'єкт розглядається як основна база для аналізу гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов, а також для

обґрунтування необхідності оптимізації видобувних робіт. Для кар'єру № 3 характерні значна глибина розробки, складна система розкриття, необхідність організації транспортування рудної маси і розкривних порід, а також потреба у раціональній взаємодії виймально-навантажувального і транспортного обладнання. Оптимізація видобувних робіт у кар'єрі № 3 повинна розглядатися з урахуванням як загальних тенденцій розвитку відкритого гірництва, так і конкретних умов функціонування підприємства. До основних напрямів оптимізації можна віднести вдосконалення системи розкриття і розвитку гірничих робіт, раціоналізацію параметрів уступів і робочих майданчиків, підвищення якості підготовки порід до виймання, покращення взаємодії екскаваторів і транспорту, скорочення простоїв обладнання, оптимізацію транспортних маршрутів, зниження витрат на переміщення гірничої маси та підвищення рівня промислової безпеки. З урахуванням сучасних вимог до гірничого виробництва, оптимізація видобувних робіт не повинна обмежуватися лише підвищенням продуктивності. Вона має передбачати комплексний підхід, який поєднує технологічну ефективність, економічну доцільність, безпеку праці та екологічну відповідальність. Для кар'єру, що розробляє залізорудне родовище, це означає необхідність збалансованого вибору технологічних рішень, які забезпечують стабільне видобування руди, своєчасне видалення розкривних порід, безпечний розвиток гірничих робіт і мінімізацію негативного впливу на довкілля. Отже, аналіз сучасних проблем і тенденцій розвитку відкритих гірничих робіт свідчить, що для залізорудних кар'єрів ключовими завданнями є підвищення ефективності видобувно-транспортного комплексу, зниження собівартості переміщення гірничої маси, забезпечення безпеки робіт, цифровізація управління виробничими процесами, енергоефективність та екологізація виробництва. ПрАТ «ЦГЗК» як один із провідних виробників залізорудної продукції України має значний виробничий потенціал, а розробка Петрівського родовища у кар'єрі № 3 потребує обґрунтованого підходу до організації й оптимізації видобувних робіт. Саме це визначає актуальність подальшого розгляду геологічної будови родовища, фізико-

механічних властивостей гірських порід, гідрогеологічних умов і гірничо-технічної характеристики об'єкта дослідження.

1.4. Геологічна будова Петрівського родовища залізних руд

Петрівське родовище залізистих кварцитів є сировинною базою кар'єру № 3 та належить до важливих об'єктів відкритої розробки залізорудної сировини. Родовище розташоване в межах Кіровоградської області, Олександрійського району, поблизу селища Петрове. За матеріалами відкритих джерел і документів з оцінки впливу на довкілля, подальша розробка кар'єру № 3 пов'язана з реконструкцією та поглибленням гірничих робіт до глибоких горизонтів, що зумовлює необхідність детального врахування геологічної будови родовища при виборі технологічних рішень. У геоструктурному відношенні Петрівське родовище розміщене на захід від північного закінчення Криворізької структури та відноситься до Правобережного залізорудного району. Геологічна будова родовища характеризується складним поєднанням складчастих і тектонічно порушених структур, що істотно впливає на умови ведення відкритих гірничих робіт. Для родовища характерне субмеридіональне простягання рудної зони, значна протяжність продуктивної товщі та складна внутрішня будова рудних тіл. За геологічною характеристикою Петрівське родовище являє собою складну синклінальну структуру з переважно крутим заляганням рудних пластів. Рудна зона простягається приблизно з півдня на північ, а її будова ускладнена зміною кутів падіння, тектонічними порушеннями та неоднорідністю речовинного складу залізистих кварцитів. Такі особливості мають важливе значення для обґрунтування напрямку розвитку гірничих робіт, формування робочих і неробочих бортів кар'єру, вибору системи розкриття та організації видобувних процесів. Продуктивна товща Петрівського родовища представлена залізистими кварцитами, серед яких переважають магнетитові та гематит-магнетитові різновиди. Рудні тіла мають пластоподібну, а місцями лінзоподібну форму та характеризуються мінливістю потужності по простягання і в розрізі. У межах родовища виділяються східне та західне крила складки, для яких характерні різні кути падіння і різна

потужність рудних пластів. Це свідчить про нерівномірність геологічної будови родовища та необхідність диференційованого підходу до планування гірничих робіт. Внутрішня будова рудної товщі ускладнена чергуванням різних мінералого-технологічних різновидів кварцитів. У межах продуктивної товщі можуть зустрічатися магнетитові, гематит-магнетитові, силікатно-магнетитові та метасоматично змінені різновиди порід. Таке чергування впливає на якість рудної маси, умови її підготовки до виймання, параметри буровибухових робіт та подальшу переробку на збагачувальній фабриці. Для забезпечення стабільної якості сировини важливе значення має правильне планування видобутку з урахуванням просторового розміщення різних різновидів кварцитів. Геологічна структура Петрівського родовища ускладнена тектонічними порушеннями. Наявність поздовжніх і поперечних розломів впливає на просторове положення рудних тіл, стійкість масиву, тріщинуватість порід і умови проведення буровибухових робіт. Особливе значення мають зони підвищеної тріщинуватості, які можуть змінювати міцнісні властивості порід, впливати на характер дроблення масиву після вибуху, а також створювати додаткові умови для фільтрації підземних і поверхневих вод у кар'єрний простір. Складна складчасто-блокова будова родовища потребує ретельного врахування при виборі параметрів відкритої розробки. Круте залягання рудних тіл, значна глибина їх відпрацювання, мінливість потужності продуктивної товщі та наявність порушених зон ускладнюють ведення гірничих робіт. У таких умовах важливого значення набувають правильне формування бортів кар'єру, дотримання безпечних кутів укосів, раціональне розміщення транспортних комунікацій, а також забезпечення стійкості уступів під час поглиблення кар'єру. Отже, геологічна будова Петрівського родовища залізних руд характеризується складною структурою, крутим заляганням рудних пластів, мінливою потужністю продуктивної товщі, наявністю тектонічних порушень і неоднорідністю мінералого-технологічного складу залізистих кварцитів. Ці особливості безпосередньо впливають на вибір системи відкритої розробки, параметри кар'єру, організацію видобувних робіт,

технологію підготовки порід до виймання та напрями оптимізації виробничих процесів у кар'єрі № 3.

1.5. Фізико-механічні властивості гірських порід

Фізико-механічні властивості гірських порід є одним із визначальних чинників при проєктуванні та веденні відкритих гірничих робіт. Вони впливають на вибір способу підготовки порід до виймання, параметри уступів, тип бурового обладнання, ефективність вибухового руйнування, продуктивність виймально-навантажувальних машин, вибір транспортних засобів, стійкість бортів кар'єру та загальну безпеку гірничих робіт. До основних фізико-механічних показників належать густина, міцність, твердість, тріщинуватість, абразивність, пористість, межа міцності при стиску, опір розтягуванню та сколюванню, а також структурно-текстурні особливості масиву. Для Петрівського родовища характерні залізисті кварцити, які за своїми властивостями належать до міцних і абразивних гірських порід. Основними різновидами рудної маси є магнетитові та гематит-магнетитові кварцити. Їх мінеральний склад, наявність кварцу, магнетиту й гематиту, а також щільна кристалічна будова зумовлюють підвищену твердість, значний опір руйнуванню та високу абразивність. Саме тому розробка таких порід потребує застосування буровибухової підготовки перед вийманням. Висока міцність залізистих кварцитів обумовлює значні енерговитрати на буріння, підривання, екскавацію, дроблення і подальшу переробку рудної маси. Під час буріння міцних і абразивних порід підвищується зношування бурового інструменту, збільшується потреба у контролі режимів буріння та технічного стану бурових верстатів. Під час вибухового руйнування необхідно забезпечити такий гранулометричний склад підірваної маси, який дозволить ефективно виконувати навантаження екскаваторами і транспортування кар'єрним транспортом без надмірного утворення негабариту. Абразивність порід Петрівського родовища має важливе практичне значення для вибору та експлуатації гірничого обладнання. Вона впливає на строк служби робочих органів екскаваторів, ковшів, зубів, футерування дробарок, транспортного обладнання та елементів перевантажувальних пунктів.

Чим вища абразивність породи, тим більшими є витрати на технічне обслуговування і ремонт обладнання, а також тим важливішим є своєчасне планування ремонтних робіт і запасних частин.

Тріщинуватість гірських порід є ще одним важливим показником, що впливає на технологію відкритої розробки. З одного боку, природна тріщинуватість може полегшувати руйнування масиву під час вибуху, зменшуючи опір порід дробленню. З іншого боку, нерівномірний розвиток тріщин може призводити до неоднакового гранулометричного складу підірваної маси, утворення негабариту, зниження стійкості уступів і погіршення умов безпечної роботи на бортах кар'єру. Особливої уваги потребують зони тектонічних порушень, де тріщинуватість і розуцільнення масиву можуть бути підвищеними. Густина гірських порід впливає на розрахунок запасів, обсяги перевезення, масу навантаження у транспортних засобах, продуктивність екскаваторів у тоннах і вибір вантажопідйомності автосамоскидів або вагонів. Для залізорудних кар'єрів цей показник має важливе значення, оскільки рудна маса характеризується значною щільністю, а отже, при однаковому геометричному об'ємі створює значне навантаження на виймально-навантажувальне і транспортне обладнання. Тому при плануванні видобувних робіт необхідно враховувати не лише об'ємні, а й масові показники гірничої маси. Фізико-механічна неоднорідність порід у межах родовища ускладнює організацію гірничих робіт. Різні різновиди кварцитів можуть відрізнятися за міцністю, тріщинуватістю, вмістом рудних мінералів, ступенем метасоматичних змін і технологічними властивостями. Це впливає на якість руди, параметри буровибухових робіт, умови селективного виймання, продуктивність екскаваторів і стабільність роботи дробильно-збагачувального комплексу. У зв'язку з цим ефективна розробка родовища потребує постійного врахування геологічної мінливості та оперативного коригування технологічних рішень. Отже, гірські породи Петрівського родовища характеризуються високою міцністю, значною твердістю, підвищеною абразивністю, нерівномірною тріщинуватістю та неоднорідністю фізико-механічних властивостей. Такі умови зумовлюють

необхідність застосування буровибухового способу підготовки порід до виймання, використання продуктивного екскаваторного обладнання, раціонального вибору транспортних засобів і ретельного обґрунтування параметрів уступів, робочих майданчиків і бортів кар'єру. У подальших розділах ці властивості повинні враховуватися при розрахунку технологічних параметрів умовного кар'єру та обґрунтуванні напрямів оптимізації видобувних робіт.

1.6. Гідрогеологічні та кліматичні умови розробки родовища

Гідрогеологічні та кліматичні умови району родовища мають істотний вплив на організацію відкритих гірничих робіт, стійкість уступів і бортів кар'єру, стан транспортних комунікацій, ефективність буровибухових робіт, пиловий режим, водовідведення та безпеку праці. Для глибоких кар'єрів ці фактори набувають особливого значення, оскільки зі збільшенням глибини розробки зростає площа водозбору, ускладнюється система водовідливу, а вплив атмосферних і підземних вод на стійкість гірничих виробок стає більш суттєвим. Петрівське родовище та кар'єр № 3 розташовані в межах Петрівської селищної територіальної громади Олександрійського району Кіровоградської області. Район розміщення родовища характеризується помірно-континентальним кліматом із рисами напівзасушливості. Для нього характерні теплий літній період, нестійка зима, нерівномірний розподіл атмосферних опадів протягом року, періодичні зливові дощі, а також чергування посушливих і вологих періодів. Кліматичні умови безпосередньо впливають на ведення відкритих гірничих робіт. У сухі періоди посилюється пиловиділення під час руху автосамоскидів, буріння свердловин, навантаження і розвантаження гірничої маси. У періоди інтенсивних опадів зростає ризик розмиву кар'єрних доріг, погіршення умов руху транспорту, підтоплення робочих майданчиків, зниження стійкості окремих ділянок уступів і ускладнення роботи водовідливних споруд. У зимовий період додатковими факторами є промерзання дорожнього покриття, ожеледиця, зниження видимості та ускладнення технічного обслуговування обладнання. Гідрогеологічні умови району Петрівського родовища визначаються наявністю підземних вод,

приурочених до осадових піщано-глинистих відкладів, кори вивітрювання кристалічних порід, а також до зон тріщинуватості та тектонічних порушень. Водоносність кристалічних порід є нерівномірною і значною мірою залежить від ступеня тріщинуватості масиву. Зони тектонічних порушень можуть відігравати роль шляхів фільтрації підземних вод і збільшувати локальні водопритливи у кар'єрний простір. Важливе значення для гідрогеологічного режиму має близькість поверхневих водотоків, зокрема річки Інгулець та її приток. Поверхневі води, атмосферні опади і підземні води формують загальний водний баланс кар'єру. При поглибленні гірничих робіт змінюється характер водопритливів, а також зростає необхідність постійного контролю за роботою водозбірників, насосних станцій, водовідвідних каналів і дренажних елементів. У процесі відкритої розробки родовища водопритоки можуть формуватися за рахунок атмосферних опадів, поверхневого стоку, підземних вод осадових відкладів, тріщинних вод кристалічного масиву та інфільтраційних надходжень у зонах тектонічних порушень. Особливої уваги потребують ділянки, де порушення перетинають борти кар'єру або пов'язані з зонами підвищеної тріщинуватості. У таких умовах необхідно забезпечувати систематичний гідрогеологічний контроль, своєчасне водовідведення і недопущення зниження стійкості уступів через перезволоження порід. Гідрогеологічні умови також впливають на якість буровибухових робіт. Обводнені свердловини потребують спеціальних технологічних рішень щодо вибору вибухових речовин, способу заряджання і захисту зарядів від впливу води. Наявність води у масиві може змінювати ефективність вибухового руйнування, впливати на якість дроблення порід і створювати додаткові вимоги до організації підривних робіт. Для забезпечення стабільної роботи кар'єру необхідно передбачати комплекс заходів з водовідведення та захисту робочих горизонтів від підтоплення. До таких заходів належать облаштування водозбірників, насосних станцій, водовідвідних каналів, підтримання належного стану кар'єрних доріг, регулярне очищення водовідвідних споруд, контроль за станом укосів і своєчасне реагування на збільшення водопритливів. Раціональна система водовідливу є важливою умовою безпечного ведення гірничих робіт, особливо на нижніх

горизонтах кар'єру. Отже, гідрогеологічні та кліматичні умови Петрівського родовища мають істотний вплив на організацію відкритої розробки. Помірно-континентальний напівзасушливий клімат, нерівномірний розподіл опадів, наявність поверхневих водотоків, тріщинних підземних вод і зон тектонічних порушень зумовлюють необхідність постійного контролю за водним режимом кар'єру, станом транспортних комунікацій, стійкістю бортів та умовами роботи обладнання. Урахування цих чинників є необхідною передумовою безпечної та ефективної розробки родовища.

1.7. Гірничо-технічна характеристика Петрівського родовища та кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»

Кар'єр № 3 пов'язаний з відкритою розробкою Петрівського родовища залізистих кварцитів. Родовище розташоване в районі смт Петрове Кіровоградської області та належить до залізорудної сировинної бази Центрального гірничо-збагачувального комбінату. За характером промислового використання родовище є об'єктом видобутку залізорудної сировини для подальшої переробки на гірничо-збагачувальному підприємстві. Відкрита розробка Петрівського родовища в межах кар'єру № 3 характеризується значною глибиною гірничих робіт, складною конфігурацією бортів, значними обсягами переміщення руди та розкривних порід, а також необхідністю застосування потужного бурового, виймально-навантажувального і транспортного обладнання. Основними технологічними процесами в кар'єрі є буріння вибухових свердловин, підривання скельних порід, виймання і навантаження гірничої маси, транспортування руди та розкривних порід, відвалоутворення, водовідведення, утримання транспортних комунікацій і забезпечення безпечного ведення робіт на уступах. За наявними виробничими матеріалами ПрАТ «ЦГЗК» проєктна потужність кар'єру за рудою становить близько 6,0 млн т на рік. Такий рівень продуктивності потребує узгодженої роботи всіх основних ланок технологічного процесу: буровибухових робіт, екскаваторного навантаження, автомобільного і залізничного транспорту, перевантажувальних пунктів та відвального господарства. Гірничі роботи у кар'єрі розвиваються

переважно у північному та південно-західному напрямках із поступовим пониженням відмітки дна кар'єру. Такий розвиток робіт зумовлює необхідність підтримання достатньої довжини фронтів робіт по руді та розкривних породах, а також забезпечення своєчасного розкриття нижчих горизонтів. За цими матеріалами довжина фронту робіт по руді становить близько 700 м, а по розкриву — близько 4000 м. Це свідчить про значну протяжність робочої зони кар'єру та потребу в раціональній організації переміщення гірничої маси. Фактичні параметри кар'єру за наявними матеріалами наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Основні параметри кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Довжина кар'єру по поверхні	м	1905
Ширина кар'єру по поверхні	м	1000
Площа кар'єру по поверхні	га	157,5
Відмітка дна кар'єру	м	-150
Глибина кар'єру	м	265

Наведені параметри свідчать, що кар'єр № 3 є великим залізрудним кар'єром з розвиненою системою уступів, значною площею по поверхні та суттєвою глибиною розробки. Зі збільшенням глибини кар'єру зростає роль транспортної складової, оскільки збільшується висота підйому гірничої маси, ускладнюється організація руху техніки і підвищуються вимоги до стану кар'єрних доріг, залізничних колій та перевантажувальних пунктів. Просторова конфігурація кар'єру № 3, розміщення його бортів, уступів, робочих горизонтів і внутрішньокар'єрних транспортних комунікацій відображені на схематичному плані кар'єру (Рис. 1.1). Наведений графічний матеріал дозволяє візуально оцінити складну багатогоризонтну будову кар'єру, розвиток гірничих робіт у плані та загальну структуру робочої зони.



Рисунок 1.1 — Схематичний план кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»

Схематичний геологічний розріз кар'єрного поля наведено в додатку А. Його використано як додатковий графічний матеріал для ілюстрації просторових умов залягання гірських порід, будови кар'єрного поля та загального характеру відкритої розробки залізорудного родовища. У відпрацьованому вигляді кар'єр характеризується значно більшими граничними параметрами. За проєктними матеріалами максимальна глибина кар'єру може становити до 500 м. Відмітка дна в південній частині передбачається на рівні близько -390 м, у північній частині — близько -180 м. Кути погашення бортів кар'єру приймаються близькими за величиною: для північного борту — 40° , південного — 41° , східного — 40° , західного — 41° . Такі параметри потребують постійного контролю стійкості бортів, правильного формування берм і дотримання проєктних параметрів уступів. Для кар'єру характерне застосування уступної системи розробки. Висота уступів у пухких породах приймається 10 м, у скельних породах — 15 м. Кути укосів неробочих уступів для пухких порід становлять близько 35° , для скельних порід —

близько 65°. Ширина запобіжних берм приймається 10 м. Ширина транспортних берм і з'їздів становить близько 32 м для автомобільного транспорту та близько 20 м для залізничного транспорту. Керівний ухил з'їздів для автомобільного транспорту становить до 80‰, для залізничного транспорту — до 30‰. Система розробки кар'єру № 3 може бути охарактеризована як транспортна система відкритої розробки із зовнішнім відвалоутворенням. Відпрацювання родовища виконується уступами зверху вниз. Рудний поклад розробляється системою поперечних заходок з переміщенням фронту видобувних і розкривних робіт уздовж простягання. Така система забезпечує послідовне розкриття і відпрацювання горизонтів, створює умови для роздільного переміщення руди та розкривних порід і дозволяє організувати роботу екскаваторно-транспортного комплексу відповідно до виробничої програми. Розкриття кар'єру здійснюється із застосуванням системи постійних і тимчасових з'їздів. Постійні залізничні з'їзди розміщуються на південно-східному борту кар'єру, а тимчасові автомобільні з'їзди — на західному і північному бортах. Такий підхід дозволяє поєднувати переваги залізничного транспорту для магістрального переміщення значних вантажопотоків з маневреністю автомобільного транспорту на робочих горизонтах. У кар'єрі передбачено використання внутрішньокар'єрних перевантажувальних пунктів. Рудно-розкривний перевантажувальний пункт № 1 розташований на північно-західному борту кар'єру на відмітках приблизно -85 / 75 м. Розкривний перевантажувальний пункт № 2 розташований на південно-західному борту кар'єру на відмітках приблизно -95 / 85 м. Використання таких пунктів дозволяє скоротити довжину автомобільного транспортування, організувати подальше перевезення руди залізничним транспортом і підвищити ефективність роботи транспортної системи. Видобута руда в межах кар'єру транспортується до перевантажувального пункту, після чого залізничним транспортом доставляється на збагачувальну фабрику комбінату. Розкривні породи транспортуються із застосуванням як залізничного, так і автомобільного транспорту. Вище горизонту 75 м можливе безпосереднє навантаження розкривних порід у залізничний транспорт, а на горизонті 75 м і нижче застосовується автомобільний транспорт.

Така комбінована автомобільно-залізнична схема є раціональною для глибокого кар'єру, оскільки забезпечує гнучкість роботи на нижніх горизонтах і економічність переміщення значних вантажопотоків на більші відстані. Для виконання виймально-навантажувальних робіт у кар'єрі використовуються екскаватори типу механічної лопати з місткістю ковша 8–10 м³. Основними типами екскаваторів є ЕКГ-8І та ЕКГ-10. Таке обладнання призначене для роботи з попередньо розпушеною скельною гірничою масою та забезпечує навантаження руди і розкривних порід у автомобільний або залізничний транспорт. Застосування екскаваторів типу ЕКГ відповідає умовам розробки міцних залізистих кварцитів і скельних розкривних порід, які потребують попередньої буровибухової підготовки. У наявних матеріалах зазначається, що екскаваторний парк кар'єру включає екскаватори ЕКГ-8І та ЕКГ-10, які працюють безпосередньо у кар'єрі та на внутрішньокар'єрних перевантажувальних пунктах. Разом з тим значна зношеність основного обладнання є одним із факторів, що впливає на ефективність видобувних робіт. За виробничими матеріалами зношеність екскаваторного парку становить близько 89 %, бурових верстатів — 52 %, бульдозерів — 43 %, автосамоскидів — 50 %, тепловозів — 57 %. Це свідчить про актуальність оптимізації роботи обладнання, скорочення простоїв, підвищення коефіцієнта технічної готовності та раціонального планування ремонтів. Підготовка скельних порід до виймання здійснюється буровибуховим способом. Для буріння вибухових свердловин застосовуються бурові верстати СБШ-250МН. За наявними матеріалами необхідна кількість бурових верстатів становить 2 верстати по руді та 5 верстатів по скельному розкриву. Вибухові роботи виконуються спеціалізованою організацією. Для підвищення стійкості уступів на граничному контурі застосовується заоткоска уступів методом контурного підривання похилих свердловин, а буріння свердловин у приконтурній зоні виконується верстатом СБШ-250МНА. Такі рішення спрямовані на забезпечення необхідного ступеня подрібнення гірничої маси, безпечної роботи екскаваторів і збереження стійкості бортів кар'єру. Основні виробничі показники кар'єру за наявними матеріалами наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Основні виробничі показники кар'єру № 3

Показник	Одиниця виміру	Значення
Проектна потужність кар'єру за рудою	млн т/рік	6,0
Видобуток руди	тис. т	6081,9
Вміст заліза в руді	%	23,13
Розкривна маса	тис. м ³	9132,3
Коефіцієнт розкривної маси	м ³ /т	1,5
Розкриття	тис. м ³	8155,3
Коефіцієнт розкриття	м ³ /т	1,34
Експлуатаційні втрати руди	тис. т	128,39
Експлуатаційні втрати руди	%	2,16
Засмічення руди	тис. т	104,0
Засмічення руди	%	1,76
Забезпеченість готовими запасами	міс.	1,5

Наведені показники характеризують кар'єр № 3 як потужний залізорудний об'єкт із великими обсягами видобутку руди та значним обсягом розкривних робіт. Коефіцієнт розкриття на рівні 1,34 м³/т свідчить про суттєву частку розкривних порід у загальному обсязі гірничої маси, що підвищує значення ефективної організації відвалоутворення і транспортних процесів. Втрати руди та її засмічення є важливими технологічними показниками, які безпосередньо впливають на якість видобутої сировини, обсяг промислових запасів і ефективність подальшої переробки. Відвальне господарство кар'єру № 3 включає зовнішні та тимчасові відвали, призначені для складування розкривних порід. За наявними матеріалами для розміщення розкривних порід використовуються відвал № 1, відвал № 2, відвал № 3 та тимчасовий відвал кар'єру № 3. Відвал № 1 є двоярусним, розташований поблизу південно-західного борту кар'єру, має проектну місткість близько 34,0 млн м³, площу близько 80 га і висоту ярусу 15 м. Відвал № 2 є багоярусним, розташований на відстані близько 12 км від кар'єру, має площу близько 140 га і проектну місткість близько 48,7 млн м³. Тимчасовий відвал кар'єру № 3 розташований у північному торці кар'єру на площі непогашених балансових запасів і займає близько 50,6 га. Відвал № 3 розташований в Йосипівській балці, має площу близько 156 га і проектну місткість близько 60,1 млн м³. Відвальне господарство відіграє важливу роль у забезпеченні безперервності роботи кар'єру,

оскільки своєчасне видалення розкривних порід із робочої зони створює умови для подальшого розкриття рудного тіла і розвитку гірничих робіт. Значні відстані транспортування розкривних порід до зовнішніх відвалів підвищують роль раціонального вибору транспортної схеми та узгодження роботи екскаваторів, автосамоскидів, залізничного транспорту і відвального обладнання. Графічні матеріали, отримані для виконання роботи, дозволяють уточнити просторову конфігурацію кар'єру, загальний вигляд уступів, транспортних комунікацій, робочих майданчиків і схем організації екскаваторних робіт. Схематичний план кар'єру наведено безпосередньо в тексті підрозділу 1.7, а схематичний геологічний розріз кар'єрного поля, фрагменти паспорта екскаваторного вибою та схеми організації роботи екскаватора подано в додатках А–В. Це дає змогу посилити зв'язок аналітичної і розрахункової частин КБР з реальними умовами відкритої розробки родовища. Таким чином, кар'єр № 3 є складним гірничотехнічним об'єктом із значною глибиною розробки, розвиненою системою уступів, комбінованою автомобільно-залізничною транспортною схемою, використанням буровибухової підготовки скельних порід, екскаваторного навантаження та зовнішнього відвалоутворення. Основними напрямками оптимізації видобувних робіт для такого об'єкта є підвищення ефективності роботи екскаваторно-транспортного комплексу, скорочення простоїв обладнання, удосконалення транспортних маршрутів, забезпечення якісної буровибухової підготовки, зменшення втрат і засмічення руди, раціональне формування відвалів та підтримання безпечних параметрів уступів і бортів кар'єру.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА «РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УМОВНОГО КАР'ЄРУ ЗА ПРИЙНЯТИМИ ВИХІДНИМИ ДАНИМИ»

У даному розділі виконується розрахунок основних технологічних параметрів умовного кар'єру за прийнятими вихідними даними. Розрахункова частина має навчально-проектний характер і спрямована на обґрунтування основних параметрів відкритої розробки крутоспадаючого родовища корисної копалини. Результати розрахунків використовуються для визначення загальної організації відкритих гірничих робіт, параметрів кар'єру, обсягів корисної копалини та розкривних порід, продуктивності кар'єру, способу розкриття родовища, параметрів системи розробки, підготовки гірських порід до виймання, виймально-навантажувальних і транспортних робіт, відвалоутворення та рекультивації порушених земель. Розрахунки виконуються для умовного родовища, яке має форму крутоспадаючого покладу з постійною нормальною потужністю. Корисна копалина та розкривні породи мають однорідну будову, а рельєф поверхні в межах кар'єрного поля приймається рівнинним. Такий підхід дозволяє спростити розрахункову схему та зосередити увагу на визначенні основних технологічних параметрів відкритої розробки.

2.1. Загальна організація відкритих гірничих робіт

Загальна організація відкритих гірничих робіт передбачає визначення режиму роботи кар'єру, основних геометричних параметрів кар'єрного поля, балансових і промислових запасів корисної копалини, обсягів гірничої маси та розкривних порід, середнього коефіцієнта розкриву, орієнтовного строку експлуатації кар'єру, а також річної, місячної, добової та змінної продуктивності. У межах даної роботи загальна організація відкритих гірничих робіт розглядається у двох взаємопов'язаних аспектах. Перший аспект пов'язаний із виконанням інженерного розрахунку умовного кар'єру за прийнятими вихідними параметрами. Другий аспект полягає в урахуванні наявних матеріалів по кар'єру № 3, які

дозволяють конкретизувати технологічні рішення щодо режиму роботи, системи розробки, транспортування гірничої маси, виймально-навантажувального обладнання та відвального господарства. Вихідні дані для виконання розрахунків наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Вихідні дані для розрахунку технологічних параметрів умовного кар'єру

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Нормальна потужність покладу корисної копалини	mn	м	220
Довжина родовища за простяганням	L	м	1910
Кут падіння покладу	α	град	70
Глибина залягання корисної копалини від поверхні	h	м	30
Відмітка денної поверхні в межах кар'єрного поля	X	м	+25
Густина розкривних порід	ррп	т/м ³	2,9
Густина корисної копалини	рkk	т/м ³	3,3
Коефіцієнт міцності розкривних порід	frп	—	14
Коефіцієнт міцності корисної копалини	fkk	—	14
Усереднений кут укосу неробочих бортів кар'єру	β_n	град	42
Проектна продуктивність кар'єру за корисною копалиною	Акк	млн т/рік	2
Проектні втрати корисної копалини	Кп	%	3

Для умовного кар'єру приймається безперервний режим роботи з цілодобовою організацією виробничого процесу. Кількість робочих діб на рік приймається:

$$N_{p.d.} = 350 \text{ діб.}$$

Робота виробничих ділень організовується у три зміни на добу тривалістю 8 годин кожна:

$$N_{зм} = 3 \text{ зміни; } T_{зм} = 8 \text{ год.}$$

Такий режим роботи дозволяє забезпечити стабільне виконання річної виробничої програми кар'єру та рівномірне завантаження основного гірничого і транспортного обладнання. Оскільки родовище має форму крутоспадаючого покладу, для подальших розрахунків визначається горизонтальна потужність покладу корисної копалини:

$$m_{\Gamma} = m_{\text{н}} / \sin \alpha, \quad (2.1)$$

де $m_{\text{н}}$ — нормальна потужність покладу, м;
 α — кут падіння покладу, град.

$$m_{\Gamma} = 220 / \sin 70^{\circ} = 234,1 \text{ м.}$$

Отже, ширина дна кар'єру приймається рівною горизонтальній потужності покладу:

$$B_{\text{д}} = m_{\Gamma} = 234,1 \text{ м.} \quad (2.2)$$

Довжина дна кар'єру приймається рівною довжині родовища за простяганням:

$$L_{\text{д}} = L = 1910 \text{ м.} \quad (2.3)$$

Площа дна кар'єру визначається за формулою:

$$S_{\text{д}} = L_{\text{д}} \cdot B_{\text{д}}, \quad (2.4)$$

$$S_{\text{д}} = 1910 \cdot 234,1 = 447131 \text{ м}^2.$$

За наближеним геометричним розрахунком кінцева глибина кар'єру для заданих умов становить:

$$H_{\text{к}} = 167,67 \text{ м.}$$

Оскільки корисна копалина залягає на глибині $h = 30$ м від поверхні, об'єм корисної копалини в проєктних контурах кар'єру визначається за формулою:

$$V_{\text{кк}} = m_{\text{г}} \cdot L \cdot (H_{\text{к}} - h), \quad (2.5)$$

де $m_{\text{г}}$ — горизонтальна потужність покладу, м;
 L — довжина родовища за простяганням, м;
 $H_{\text{к}}$ — кінцева глибина кар'єру, м;
 h — глибина залягання корисної копалини від поверхні, м.

$$V_{\text{кк}} = 234,1 \cdot 1910 \cdot (167,67 - 30) = 61556524,77 \text{ м}^3.$$

Балансові запаси корисної копалини в контурах кар'єру визначаються з урахуванням густини корисної копалини:

$$З_{\text{б}} = V_{\text{кк}} \cdot \rho_{\text{кк}}, \quad (2.6)$$

де $\rho_{\text{кк}}$ — густина корисної копалини, т/м³.

$$З_{\text{б}} = 61556524,77 \cdot 3,3 = 203136531,7 \text{ т.}$$

Отже, балансові запаси корисної копалини в контурах умовного кар'єру становлять приблизно:

$$З_{\text{б}} = 203,14 \text{ млн т.}$$

Промислові запаси корисної копалини визначаються з урахуванням проєктних втрат:

$$З_{\text{пр}} = З_{\text{б}} \cdot (1 - K_{\text{п}} / 100), \quad (2.7)$$

де $K_{\text{п}}$ — проєктні втрати корисної копалини, %.

$$З_{\text{пр}} = 203136531,7 \cdot (1 - 3 / 100) = 197042435,7 \text{ т.}$$

Отже, промислові запаси корисної копалини становлять приблизно:

$$З_{пр} = 197,04 \text{ млн т.}$$

Розміри кар'єру по поверхні залежать від розмірів його дна, кінцевої глибини та кута укосу неробочих бортів. Для рівнинного рельєфу довжина і ширина кар'єру по поверхні визначаються за формулами:

$$L_{п.п.} = L_{д} + 2 \cdot H_{к} \cdot \operatorname{ctg} \beta_{н}, \quad (2.8)$$

$$B_{п.п.} = B_{д} + 2 \cdot H_{к} \cdot \operatorname{ctg} \beta_{н}, \quad (2.9)$$

де $\beta_{н}$ — усереднений кут укосу неробочих бортів кар'єру, град.

$$L_{п.п.} = 1910 + 2 \cdot 167,67 \cdot \operatorname{ctg} 42^{\circ} = 2282,2 \text{ м,}$$

$$B_{п.п.} = 234,1 + 2 \cdot 167,67 \cdot \operatorname{ctg} 42^{\circ} = 606,3 \text{ м.}$$

Таким чином, орієнтовні розміри умовного кар'єру по поверхні становлять:

$$\begin{array}{lll} L_{п.п.} & = & 2282,2 \text{ м;} \\ B_{п.п.} & = & 606,3 \text{ м.} \end{array}$$

Об'єм гірничої маси в кінцевих контурах кар'єру за наближеним розрахунком становить:

$$V_{ГМ} = 147960481,5 \text{ м}^3.$$

Об'єм розкритих порід у кінцевих контурах кар'єру визначається як різниця між загальним об'ємом гірничої маси та об'ємом корисної копалини:

$$V_p = V_{ГМ} - V_{КК}, \quad (2.10)$$

$$V_p = 147960481,5 - 61556524,77 = 86403956,7 \text{ м}^3.$$

Отже, об'єм розкритих порід у кінцевих контурах кар'єру становить:

$$V_p = 86,40 \text{ млн м}^3.$$

Середній коефіцієнт розкриву визначається як відношення об'єму розкривних порід до балансових запасів корисної копалини:

$$K_{p.сер} = V_p / 36, \quad (2.11)$$

$$K_{p.сер} = 86403956,7 / 203136531,7 = 0,425 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Для подальших розрахунків середній коефіцієнт розкриву приймається:

$$K_{p.сер} \approx 0,4 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Орієнтовний строк експлуатації кар'єру визначається за промисловими запасами корисної копалини та проектною річною продуктивністю кар'єру:

$$T = 3_{пр} / A_{кк}, \quad (2.12)$$

де $A_{кк}$ — проектна річна продуктивність кар'єру за корисною копалиною, т/рік.

$$T = 197042435,7 / 2000000 = 98,52 \text{ року}.$$

Отже, орієнтовний строк експлуатації умовного кар'єру становить приблизно:

$$T \approx 99 \text{ років}.$$

Річна продуктивність кар'єру за корисною копалиною приймається відповідно до вихідних даних:

$$A_{кк} = 2,0 \text{ млн т/рік}.$$

У перерахунку на об'єм корисної копалини річна продуктивність становить:

$$Q_{кк.річ} = A_{кк} / r_{кк}, \quad (2.13)$$

$$Q_{кк.річ} = 2000000 / 3,3 = 606060,6 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Річна продуктивність за розкривними породами визначається за середнім коефіцієнтом розкриву:

$$Q_{p.pіч} = K_{p.cер} \cdot Акк, \quad (2.14)$$

$$Q_{p.pіч} = 0,425 \cdot 2000000 = 850000 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

У масовому вираженні річний обсяг розкривних робіт становитиме:

$$A_p = Q_{p.pіч} \cdot \rho_{pp}, \quad (2.15)$$

$$A_p = 850000 \cdot 2,9 = 2465000 \text{ т/рік}.$$

Для подальшої організації виробничого процесу визначаються місячна, добова та змінна продуктивність кар'єру.

Місячна продуктивність за корисною копалиною:

$$Акк.міс = Акк / 12, \quad (2.16)$$

$$Акк.міс = 2000000 / 12 = 166666,7 \text{ т/міс}.$$

Добова продуктивність за корисною копалиною:

$$Акк.доб = Акк / N_{p.d.}, \quad (2.17)$$

$$Акк.доб = 2000000 / 350 = 5714,3 \text{ т/добу}.$$

Змінна продуктивність за корисною копалиною:

$$Акк.зм = Акк.доб / N_{зм}, \quad (2.18)$$

$$Акк.зм = 5714,3 / 3 = 1904,8 \text{ т/зміну}.$$

У перерахунку на об'єм корисної копалини:

$$Q_{кк.доб} = 606060,6 / 350 = 1731,6 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$Q_{\text{кк.зм}} = 1731,6 / 3 = 577,2 \text{ м}^3/\text{зміну}.$$

Для розкривних порід:

$$Q_{\text{р.міс}} = 850000 / 12 = 70833,3 \text{ м}^3/\text{міс},$$

$$Q_{\text{р.доб}} = 850000 / 350 = 2428,6 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$Q_{\text{р.зм}} = 2428,6 / 3 = 809,5 \text{ м}^3/\text{зміну}.$$

Отримані результати зведено в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 — Основні розрахункові показники умовного кар'єру

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Горизонтальна потужність покладу	mg	м	234,1
Ширина дна кар'єру	Вд	м	234,1
Довжина дна кар'єру	Лд	м	1910
Площа дна кар'єру	Сд	м ²	447131
Кінцева глибина кар'єру	Нк	м	167,67
Довжина кар'єру по поверхні	Лп.п.	м	2282,2
Ширина кар'єру по поверхні	Вп.п.	м	606,3
Об'єм корисної копалини	V _{кк}	млн м ³	61,56
Балансові запаси корисної копалини	Зб	млн т	203,14
Промислові запаси корисної копалини	Зпр	млн т	197,04
Об'єм гірничої маси	V _{гм}	млн м ³	147,96
Об'єм розкривних порід	V _р	млн м ³	86,40
Середній коефіцієнт розкриву	Кр.сер	м ³ /т	0,425
Проектна продуктивність за корисною копалиною	Акк	млн т/рік	2,0
Річна продуктивність за корисною копалиною	Q _{кк.річ}	м ³ /рік	606060,6
Річний обсяг розкривних робіт	Q _{р.річ}	м ³ /рік	850000
Орієнтовний строк експлуатації кар'єру	T	років	98,52

Таким чином, у результаті розрахунків встановлено основні геометричні та виробничі параметри умовного кар'єру. Родовище характеризується значними

запасами корисної копалини, достатньою глибиною розробки та необхідністю виконання значного обсягу розкривних робіт. Проектна продуктивність кар'єру за корисною копалиною становить 2,0 млн т/рік, а орієнтовний строк експлуатації — близько 99 років. Отримані показники є основою для подальшого вибору способу розкриття, системи розробки, параметрів буровибухових робіт, виймально-навантажувального обладнання, транспортування кар'єрних вантажів і відвалоутворення.

2.2. Розкриття та система розробки умовного родовища

Розкриття родовища при відкритому способі розробки полягає у створенні стійкого транспортного зв'язку між робочими горизонтами кар'єру та пунктами приймання гірничої маси на поверхні. Такими пунктами можуть бути рудні склади, дробильні установки, збагачувальні фабрики, перевантажувальні пункти, зовнішні або внутрішні відвали розкривних порід. Правильно обрана схема розкриття забезпечує ритмічне переміщення корисної копалини і розкривних порід, безпечний розвиток гірничих робіт та ефективне використання транспортного обладнання. При проектуванні відкритої розробки розрізняють спосіб, схему та систему розкриття. Спосіб розкриття характеризується типом розкривних виробок, які використовуються для доступу до робочих горизонтів. До них належать капітальні та розрізні траншеї, напівтраншеї, внутрішні з'їзди, а в окремих випадках — комбінації відкритих і підземних гірничих виробок. Схема розкриття відображає просторове розташування розкривних виробок у певний період розвитку кар'єру. Система розкриття характеризує послідовність зміни схем розкриття протягом усього строку експлуатації кар'єру. Для умовного родовища, що розглядається у розрахунковій частині, характерне крутоспадаюче залягання покладу, значна глибина розробки, однорідна будова корисної копалини і розкривних порід, а також рівнинний рельєф денної поверхні. Такі умови зумовлюють доцільність застосування внутрішнього розкриття кар'єрного поля за допомогою капітальних траншей, розташованих на неробочому борту кар'єру. При виборі способу розкриття враховують кут падіння покладу, глибину залягання

корисної копалини, форму родовища, фізико-механічні властивості порід, стійкість бортів, прийнятий вид транспорту, обсяги переміщення гірничої маси та перспективу розвитку робіт у глибину. Оскільки родовище є крутоспадаючим, а кінцева глибина кар'єру становить 167,67 м, доцільним є розкриття робочих горизонтів системою внутрішніх капітальних траншей. Внутрішні капітальні траншеї доцільно розміщувати на неробочому борту кар'єру. Таке рішення дозволяє забезпечити їх відносну сталість протягом тривалого періоду експлуатації, зменшити вплив переміщення фронту гірничих робіт на транспортні комунікації та створити більш надійний зв'язок між робочими горизонтами й поверхнею. Для умовного кар'єру приймається розкриття загальними внутрішніми капітальними траншеями, стаціонарно розташованими на неробочому борту та орієнтованими вздовж простягання родовища. З урахуванням порівняно невеликої проектної продуктивності кар'єру за корисною копалиною, яка становить 2,0 млн т/рік, а також необхідності маневреного обслуговування робочих горизонтів, як основний вид кар'єрного транспорту для умовного розрахунку приймається автомобільний транспорт. Його перевагами є висока мобільність, можливість роботи на змінних і тимчасових трасах, менші радіуси повороту порівняно із залізничним транспортом, здатність долати більші ухили та зручність обслуговування екскаваторних вибоїв. Основними параметрами капітальної траншеї є її поздовжній похил, довжина, ширина по підосві, кути укосів бортів та об'єм гірничих робіт при її проведенні. При використанні автомобільного транспорту поздовжній похил траншеї може бути більшим, ніж при залізничному транспорті. Однак надмірне збільшення ухилу знижує безпеку руху автосамоскидів, збільшує витрати палива та ускладнює експлуатацію кар'єрних доріг. Тому для умовного кар'єру керівний ухил капітальної траншеї приймається:

$$i_k = 75 \text{ \%}.$$

Висота уступу для розрахунків приймається:

$$H_y = 15 \text{ м}.$$

Довжина капітальної траншеї, необхідна для розкриття одного уступу, визначається за формулою:

$$L_T = H_y \cdot 1000 / i_k, \quad (2.19)$$

де H_y — висота уступу, м;

i_k — керівний ухил траншеї, ‰.

$$L_T = 15 \cdot 1000 / 75 = 200 \text{ м.}$$

Отже, для розкриття одного горизонту капітальною траншеєю при ухилі 75 ‰ необхідна довжина траншеї становить:

$$L_T = 200 \text{ м.}$$

Ширина капітальної траншеї по підшві встановлюється залежно від виду транспорту, схеми подачі автосамоскидів під навантаження, радіуса їх розвороту, габаритів транспортних засобів і параметрів виймально-навантажувального обладнання. При кільцевій схемі розвороту автосамоскидів ширина траншеї може бути визначена за формулою:

$$B_{\text{тр}} = 2 \cdot (R_a + C) + B_a, \quad (2.20)$$

де R_a — радіус розвороту автосамоскида, м;

C — безпечний зазор між автосамоскидом і бортом траншеї, м;

B_a — ширина автосамоскида, м.

Для розрахункової схеми приймається:

$$R_a = 13 \text{ м;}$$

$$C = 3 \text{ м;}$$

$$B_a = 3,7 \text{ м.}$$

$$B_{\text{тр}} = 2 \cdot (13 + 3) + 3,7 = 35,7 \text{ м.}$$

Отже, ширина капітальної траншеї по підшві приймається:

$$B_{тр} = 35,7 \text{ м.}$$

Кути укосів бортів капітальної траншеї приймаються залежно від властивостей гірських порід і строку служби траншеї. Оскільки в умовах розрахунку корисна копалина і розкривні породи представлені міцними породами з коефіцієнтом міцності $f = 14$, а кут укосу уступу приймається $\alpha_y = 70^\circ$, кути укосів бортів траншеї приймаються відповідними до кута укосу уступу. Орієнтовний об'єм капітальної траншеї для розкриття одного уступу визначається з урахуванням її довжини, висоти уступу, ширини по підшві та кута укосу бортів. Для наближеного розрахунку приймається формула:

$$V_{к.тр} = L_t \cdot [(B_{тр} \cdot H_y / 2) + (H_y^2 \cdot \text{ctg } \alpha_y / 3)], \quad (2.21)$$

де L_t — довжина капітальної траншеї, м;

$B_{тр}$ — ширина траншеї по підшві, м;

H_y — висота уступу, м;

α_y — кут укосу уступу, град.

$$V_{к.тр} = 200 \cdot [(35,7 \cdot 15 / 2) + (15^2 \cdot \text{ctg } 70^\circ / 3)] = 59009,3 \text{ м}^3.$$

Отже, орієнтовний об'єм капітальної траншеї для розкриття одного уступу становить:

$$V_{к.тр} \approx 59,0 \text{ тис. м}^3.$$

Розрізна траншея є продовженням капітальної траншеї та проводиться на робочому горизонті для створення початкового фронту гірничих робіт. Після проведення розрізної траншеї її борти поступово розробляються, і вона втрачає самостійне значення як окрема виробка. Глибина розрізної траншеї приймається рівною висоті уступу, а її довжина залежить від довжини фронту робіт або екскаваторного блока.

Для умовного кар'єру довжина розрізної траншеї приймається:

$$L_{p.tr} = 250 \text{ м.}$$

Об'єм розрізної траншеї визначається як об'єм призми, у підставі якої лежить трапеція:

$$V_{p.tr} = (B_{tr} + H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y) \cdot H_y \cdot L_{p.tr}, \quad (2.22)$$

де B_{tr} — ширина траншеї по підшві, м;

H_y — висота уступу, м;

α_y — кут укосу уступу, град;

$L_{p.tr}$ — довжина розрізної траншеї, м.

$$V_{p.tr} = (35,7 + 15 \cdot \operatorname{ctg} 70^\circ) \cdot 15 \cdot 250 = 154348,2 \text{ м}^3.$$

Отже, орієнтовний об'єм розрізної траншеї становить:

$$V_{p.tr} \approx 154,35 \text{ тис. м}^3.$$

Важливим елементом розкриття є траса капітальних траншей. Трасуванням називають визначення положення поздовжньої осі траншеї в просторі, а також її положення у плані та профілі. За формою в плані траси капітальних траншей можуть бути простими, тупиковими, петльовими або комбінованими. Для умовного кар'єру доцільно прийняти комбіновану форму траси, оскільки вона дає змогу раціонально розмістити похилі ділянки, горизонтальні примикання та поворотні ділянки при розкритті кількох горизонтів.

Для виконання графічної аналітично-розрахункової частини приймається розкриття чотирьох горизонтів:

$$n_y = 4.$$

Теоретична довжина траси визначається за формулою:

$$L_{\text{теор}} = 1000 \cdot n_y \cdot H_y / i_k, \quad (2.23)$$

де n_y — кількість уступів, які розкриваються трасою;

H_y — висота уступу, м;

i_k — керівний ухил траси, ‰.

$$L_{\text{теор}} = 1000 \cdot 4 \cdot 15 / 75 = 800 \text{ м.}$$

Дійсна довжина траси з урахуванням горизонтальних і петльових ділянок буде більшою за теоретичну. Для автомобільного транспорту довжину горизонтальної ділянки примикання приймаємо:

$$L_{\text{г.п.}} = 60 \text{ м.}$$

Довжина петльової маневрової ділянки визначається за формулою:

$$L_{\text{п.п.}} = \pi \cdot R_a, \quad (2.24)$$

$$L_{\text{п.п.}} = 3,14 \cdot 13 = 40,8 \text{ м.}$$

Для комбінованої форми траси приймається дві горизонтальні ділянки примикання та одна петльова маневрова ділянка. Тоді дійсна довжина траси становитиме:

$$L_{\text{дійсн}} = L_{\text{теор}} + 2 \cdot L_{\text{г.п.}} + L_{\text{п.п.}}, \quad (2.25)$$

$$L_{\text{дійсн}} = 800 + 2 \cdot 60 + 40,8 = 960,8 \text{ м.}$$

Коефіцієнт подовження траси визначається за формулою:

$$K_{\text{под}} = L_{\text{дійсн}} / L_{\text{теор}}, \quad (2.26)$$

$$K_{\text{под}} = 960,8 / 800 = 1,20.$$

Отже, дійсна довжина траси при розкритті чотирьох горизонтів становить 960,8 м, а коефіцієнт її подовження — 1,20. Це свідчить про прийнятну

конфігурацію траси з урахуванням необхідності безпечного примикання до робочих горизонтів і забезпечення маневрування автомобільного транспорту. Для безпечної експлуатації кар'єрного транспорту необхідно визначити параметри транспортних берм на неробочих бортах кар'єру. Ширина транспортної берми при двосмуговому русі автомобільного транспорту визначається за формулою:

$$B_T = a + s + z + \text{Ша} + b_o + b_k + d, \quad (2.27)$$

де a — ширина призми можливого обрушення уступу, м;

s — ширина орієнтувального валу, м;

z — відстань від подошви валу до межі проїзної частини, м;

Ша — ширина проїзної частини автодороги, м;

b_o — ширина узбіччя, м;

b_k — ширина кювету по верху, м;

d — відстань від бровки кювету до нижньої бровки уступу, м.

Для умов розрахунку приймається:

$$a = 0,14 \cdot H_y = 0,14 \cdot 15 = 2,1 \text{ м};$$

$$s = 3,0 \text{ м};$$

$$z = 0,5 \text{ м};$$

$$\text{Ша} = 17,0 \text{ м};$$

$$b_o = 2,5 \text{ м};$$

$$b_k = 1,3 \text{ м};$$

$$d = 0,5 \text{ м}.$$

$$B_T = 2,1 + 3,0 + 0,5 + 17,0 + 2,5 + 1,3 + 0,5 = 26,9 \text{ м}.$$

З урахуванням округлення ширина транспортної берми приймається:

$$B_T = 27 \text{ м}.$$

Запобіжні берми призначені для затримання уламків порід, які можуть обсипатися з верхніх уступів, а також для забезпечення загальної стійкості неробочого борту кар'єру. Їх мінімальна ширина наближено приймається рівною третині висоти уступу:

$$Вз.б. = Ну / 3, \quad (2.28)$$

$$Вз.б. = 15 / 3 = 5 \text{ м.}$$

Отже, мінімальна ширина запобіжної берми приймається:

$$Вз.б. = 5 \text{ м.}$$

Після вибору способу і схеми розкриття необхідно обґрунтувати систему відкритої розробки умовного родовища. Система розробки визначає порядок виконання підготовчих, розкривних і видобувних робіт, напрям розвитку фронту робіт, параметри уступів, робочих майданчиків, екскаваторних блоків і транспортних комунікацій. З огляду на крутоспадаюче залягання покладу, значну кінцеву глибину кар'єру та застосування автомобільного транспорту для переміщення гірничої маси, для умовного родовища приймається транспортна поглиблювальна система відкритої розробки. Вона передбачає поетапне поглиблення кар'єру з послідовним розкриттям нижчих горизонтів, переміщенням гірничої маси транспортними засобами та розвитком фронту робіт у межах кар'єрного поля. Основними елементами системи розробки є висота уступу, ширина заходки, ширина робочого майданчика, довжина екскаваторного блока та параметри транспортних комунікацій. Висота уступу приймається з урахуванням безпеки робіт, фізико-механічних властивостей порід і робочих параметрів виймально-навантажувального обладнання. Для умовного кар'єру висота уступу становить:

$$Ну = 15 \text{ м.}$$

Нормальна ширина заходки механічної лопати визначається за формулою:

$$A_z = (1,5-1,7) \cdot R_{\text{ч.у.}}, \quad (2.29)$$

де $R_{\text{ч.у.}}$ — радіус черпання екскаватора на горизонті установки, м.

Для екскаватора типу ЕКГ-12ус приймається:

$$R_{\text{ч.у.}} = 17,12 \text{ м.}$$

При коефіцієнті 1,5:

$$A_z = 1,5 \cdot 17,12 = 25,7 \text{ м.}$$

Отже, нормальна ширина заходки приймається:

$$A_z = 25,7 \text{ м.}$$

Мінімальна ширина робочого майданчика при розробці порід, які потребують буровибухової підготовки, з використанням автомобільного транспорту визначається за формулою:

$$\text{Шр.м.} = y + m + \text{Ша} + z + s + a, \quad (2.30)$$

де y — відстань від осі опори переносної лінії електропередач до нижньої бровки верхнього уступу, м;

m — відстань від краю проїзної частини дороги до осі опори лінії електропередач, м;

Ша — ширина проїзної частини технологічної автодороги, м;

z — відстань від підосви валу до краю проїзної частини, м;

s — ширина орієнтувального валу, м;

a — ширина призми можливого обвалення уступу, м.

Для розрахунку приймається:

$$y = 3 \text{ м};$$

$$m = 2,5 \text{ м};$$

$$\text{Ша} = 17 \text{ м};$$

$$z = 0,5 \text{ м};$$

$$s = 3 \text{ м};$$

$$a = 0,13 \cdot H_y = 0,13 \cdot 15 = 1,95 \text{ м}.$$

$$\text{Шр.м.} = 3 + 2,5 + 17 + 0,5 + 3 + 1,95 = 27,95 \text{ м}.$$

З урахуванням округлення мінімальна ширина робочого майданчика приймається:

$$\text{Шр.м.} \approx 28 \text{ м}.$$

Для забезпечення безпечної роботи обладнання, розміщення автотранспорту, ліній енергопостачання, орієнтувальних валів і необхідного резерву робочого простору доцільно приймати ширину робочого майданчика не меншою за 28 м, а в практичному проєктному рішенні — округлювати її до 30 м. Довжина екскаваторного блока залежить від висоти уступу, продуктивності екскаватора, інтенсивності гірничих робіт, виду транспорту і можливості безперебійного обслуговування вибою транспортними засобами. При використанні автомобільного транспорту довжина екскаваторного блока може бути меншою, ніж при залізничному транспорті, оскільки автосамоскиди мають більшу маневреність і можуть оперативніше подаватися під навантаження. Для умовного кар'єру довжину екскаваторного блока доцільно приймати в межах 100–250 м залежно від конкретної організації робіт. Основні параметри розкриття та системи розробки умовного родовища наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Основні параметри розкриття та системи розробки умовного родовища

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Спосіб розкриття	—	—	внутрішні капітальні траншеї
Основний вид транспорту	—	—	автомобільний
Висота уступу	Ну	м	15
Керівний ухил траншеї	ік	‰	75
Довжина капітальної траншеї для одного уступу	Лт	м	200
Ширина капітальної траншеї по підшві	Втр	м	35,7
Орієнтовний об'єм капітальної траншеї	Vк.тр	тис. м ³	59,0
Довжина розрізної траншеї	Lр.тр	м	250
Орієнтовний об'єм розрізної траншеї	Vр.тр	тис. м ³	154,35
Кількість горизонтів для графічної схеми	пу	шт.	4
Теоретична довжина траси	Lтеор	м	800
Дійсна довжина траси	Lдійсн	м	960,8
Коефіцієнт подовження траси	Kпод	—	1,20
Ширина транспортної берми	Вт	м	27
Ширина запобіжної берми	Вз.б.	м	5
Нормальна ширина заходки	Аз	м	25,7
Мінімальна ширина робочого майданчика	Шр.м.	м	28
Рекомендована ширина робочого майданчика	Шр.м.	м	30

Таким чином, для умовного крутоспадаючого родовища прийнято розкриття системою внутрішніх капітальних траншей, розташованих на неробочому борту кар'єру. Як основний вид транспорту прийнято автомобільний кар'єрний транспорт, що забезпечує необхідну маневреність і можливість ефективного обслуговування робочих горизонтів. Для розробки родовища прийнято транспортну поглиблювальну систему відкритої розробки з висотою уступу 15 м, шириною робочого майданчика не менше 28 м і нормальної заходкою 25,7 м. Отримані параметри створюють основу для подальшого розрахунку підготовки

гірських порід до виймання, вибору бурового обладнання та обґрунтування буровибухових робіт.

Для зв'язку прийнятих розрахункових рішень з реальним об'єктом дослідження доцільно розглянути особливості розкриття та системи розробки за наявними виробничими матеріалами ПрАТ «ЦГЗК». Кар'єр № 3 характеризується застосуванням транспортної системи відкритої розробки із зовнішнім відвалоутворенням. Відпрацювання родовища здійснюється уступами зверху вниз із послідовним пониженням гірничих робіт і розвитком фронту робіт уздовж простягання рудного тіла. Такий порядок розробки відповідає умовам крутого залягання залізрудного покладу та необхідності безперервного розкриття нижчих горизонтів. Розкриття кар'єру № 3 здійснюється системою постійних і тимчасових з'їздів. Постійні залізничні з'їзди розміщуються на південно-східному борту кар'єру, а тимчасові автомобільні з'їзди — на західному і північному бортах. Таке поєднання дає змогу використовувати залізничний транспорт для переміщення значних вантажопотоків на основних напрямках і автомобільний транспорт для обслуговування робочих горизонтів, де потрібна більша маневреність. За наявними матеріалами родовище в межах кар'єру розкрите до відмітки близько -150 м. У відпрацьованому вигляді максимальна глибина кар'єру може становити до 500 м. Відмітка дна в південній частині передбачається близько -390 м, у північній частині — близько -180 м. Це свідчить про значну глибину майбутнього розвитку гірничих робіт і підвищує значення раціонального розкриття нижчих горизонтів. Основні параметри системи розробки кар'єру за матеріалами ПрАТ «ЦГЗК» наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Основні параметри системи розробки кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Система розробки	—	транспортна, із зовнішнім відвалоутворенням
Напрямок відпрацювання	—	уступами зверху вниз
Висота уступу в пухких породах	м	10

Висота уступу в скельних породах	м	15
Кут укосу неробочого уступу в пухких породах	град	35
Кут укосу неробочого уступу в скельних породах	град	65
Ширина запобіжної берми	м	10
Ширина транспортної берми для автомобільного транспорту	м	32
Ширина транспортної берми для залізничного транспорту	м	20
Керівний ухил автомобільних з'їздів	‰	80
Керівний ухил залізничних з'їздів	‰	30
Максимальна глибина кар'єру у відпрацьованому вигляді	м	до 500

Параметри кар'єру № 3 підтверджують, що при розробці Петрівського родовища застосовується складна багатогоризонтна система відкритих гірничих робіт, у якій важливе значення мають стійкість уступів і бортів, достатня ширина робочих і транспортних берм, а також безпечна організація руху автомобільного та залізничного транспорту. Кути погашення бортів кар'єру у відпрацьованому вигляді мають близькі значення: північний борт — близько 40°, південний — 41°, східний — 40°, західний — 41°. Такі параметри вимагають систематичного контролю стану уступів, берм і ділянок можливих деформацій, особливо в умовах поглиблення кар'єру та дії буровибухових робіт. Розробка родовища передбачається поетапно. На першому етапі кар'єр відпрацьовується до глибини близько 500 м у південній частині кар'єрного поля. На наступному етапі передбачається відпрацювання залишкових запасів у північній частині родовища до меншої глибини. Такий порядок дозволяє поступово розвивати гірничі роботи, забезпечувати доступ до запасів корисної копалини та підтримувати необхідний фронт робіт по руді й розкривних породах. Для додаткового уточнення зв'язку системи розробки з фактичною організацією видобувних робіт у роботі використано виробничі матеріали ПрАТ «ЦГЗК», зокрема паспорт екскаваторного вибою. Паспорт екскаваторного вибою відображає організацію одного з основних технологічних процесів відкритої розробки — виймально-навантажувальних робіт

у скельному вибої після буровибухової підготовки гірничої маси. У системі відкритої розробки паспорт екскаваторного вибою має важливе значення, оскільки він конкретизує параметри робочої зони, порядок розміщення екскаватора, схеми під'їзду автотранспорту, умови маневрування автосамоскидів, вимоги до безпечного розташування техніки та організацію роботи на уступі. Таким чином, паспорт пов'язує загальні параметри системи розробки з практичним виконанням видобувного процесу на робочому горизонті. Наведені в додатках фрагменти паспорта екскаваторного вибою та схеми організації роботи екскаватора показують, що ефективність системи розробки залежить не лише від висоти уступів, ширини берм і способу розкриття, а й від правильної організації роботи екскаваторно-транспортного комплексу. Зокрема, схеми проходки траншеї, під'їзду автотранспорту, кільцевого і тупикового розвороту автосамоскидів дозволяють оцінити практичну взаємодію виймально-навантажувального і транспортного обладнання в межах прийнятої системи розробки. Порівняння прийнятих розрахункових параметрів умовного кар'єру з наявними виробничими матеріалами показує, що основні технологічні рішення мають спільну спрямованість: застосування уступної системи розробки, використання транспортного способу переміщення гірничої маси, необхідність буровибухової підготовки скельних порід, поетапне поглиблення кар'єру та забезпечення безпечних параметрів уступів і робочих майданчиків. Водночас реальний кар'єр № 3 характеризується складнішою транспортною схемою, оскільки в ньому поєднуються автомобільний і залізничний транспорт, а також використовуються внутрішньокар'єрні перевантажувальні пункти. Таким чином, для умовного родовища в розрахунковій частині приймається транспортна поглиблювальна система відкритої розробки, а наявні матеріали по кар'єру № 3 підтверджують доцільність такого підходу для глибоких залізрудних кар'єрів. Для Петрівського родовища особливо важливими є раціональне розкриття нижчих горизонтів, підтримання стійкості бортів, забезпечення достатньої ширини транспортних берм, правильна організація комбінованої автомобільно-залізничної транспортної схеми та узгодження роботи розкривних, видобувних і транспортних процесів.

2.3. Підготовка гірських порід до виймання

Підготовка гірських порід до виймання є одним з основних технологічних процесів відкритої розробки родовищ корисних копалин. Її призначення полягає у створенні таких умов, за яких гірнича маса може бути ефективно вийнята, навантажена і транспортована прийнятим комплексом гірничого обладнання. Спосіб підготовки порід до виймання залежить від їх фізико-механічних властивостей, міцності, тріщинуватості, абразивності, висоти уступу, типу виймально-навантажувального обладнання та вимог до крупності підірваної гірничої маси. Породи невеликої міцності можуть розроблятися без попереднього руйнування масиву, безпосередньо екскаваторами або іншими виймальними машинами. У разі розробки щільних, напівскельних і скельних порід середньої та високої міцності необхідною умовою ефективного виймання є їх попереднє розпушення. Для умовного родовища, що розглядається у даній роботі, корисна копалина і розкривні породи характеризуються коефіцієнтом міцності $f = 14$, тому вони належать до міцних скельних порід і потребують буровибухової підготовки. Основним способом підготовки гірських порід до виймання приймаються буровибухові роботи із застосуванням вертикальних свердловинних зарядів. Цей спосіб є найбільш поширеним при відкритій розробці міцних скельних порід, оскільки забезпечує можливість руйнування значних обсягів масиву, формування розпушеної гірничої маси та створення умов для продуктивної роботи екскаваторів і кар'єрного транспорту.

Рациональна організація буровибухових робіт повинна забезпечувати:

- якісне дроблення гірських порід до крупності, придатної для навантаження екскаваторами;
- мінімальне утворення негабаритних кусків;
- належне пророблення підосви уступу;

- безпечний стан бортів і робочих майданчиків після вибуху;
- зменшення сейсмічного, пилового та шумового впливу вибуху;
- узгодженість бурових, вибухових, виймально-навантажувальних і транспортних робіт.

Для буріння вибухових свердловин приймається верстат шарошкового буріння типу СБШ-250. Його застосування є доцільним для буріння свердловин у міцних скельних породах, які характеризуються значним опором руйнуванню. Діаметр долота для прийнятого бурового верстата становить:

$$d_d = 0,269 \text{ м.}$$

Діаметр заряду залежить від діаметра бурового інструмента та коефіцієнта розширення свердловини. Коефіцієнт розширення свердловини визначається з урахуванням міцності й тріщинуватості порід:

$$k_p = 1,06 - (f - 2) \cdot 0,003, \quad (2.31)$$

де f — коефіцієнт міцності порід за шкалою М. М. Протодьяконова.

Для порід з коефіцієнтом міцності $f = 14$:

$$k_p = 1,06 - (14 - 2) \cdot 0,003 = 1,02.$$

Діаметр заряду визначається за формулою:

$$d_z = k_p \cdot d_d, \quad (2.32)$$

$$d_z = 1,02 \cdot 0,269 = 0,27 \text{ м.}$$

Отже, для подальших розрахунків приймається діаметр заряду:

$$d_z = 0,27 \text{ м.}$$

Як вибухова речовина для розрахунків приймається емульсійна вибухова речовина «Анемікс». Для неї приймаються такі основні характеристики:

$\Delta = 1220 \text{ кг/м}^3$ — щільність заряджання;

$Q = 2990 \text{ кДж/кг}$ — теплота вибуху.

З урахуванням прийнятого діаметра заряду визначається місткість одного метра свердловини:

$$p = \pi \cdot d_z^2 \cdot \Delta / 4, \quad (2.33)$$

де d_z — діаметр заряду, м;

Δ — щільність заряджання, кг/м^3 .

$$p = 3,14 \cdot 0,27^2 \cdot 1220 / 4 = 69,8 \text{ кг/м.}$$

Отже, один метр свердловини вміщує приблизно:

$$p = 69,8 \text{ кг ВР/м.}$$

Важливим параметром буровибухових робіт є опір по підшві уступу. Він характеризує відстань від першого ряду свердловин до відкритої поверхні уступу і впливає на якість руйнування порід, пророблення підшви та безпеку роботи бурового обладнання. Для першого ряду свердловин необхідно перевірити безпечне значення опору по підшві за умовами розміщення бурового обладнання на уступі:

$$W_{TB} = H_y \cdot \text{ctg } \alpha_y + C, \quad (2.34)$$

де H_y — висота уступу, м;

α_y — кут укосу уступу, град;

C — мінімальна безпечна відстань від верхньої бровки уступу до першого ряду свердловин, м.

Для умов розрахунку приймається:

$$H_y = 15 \text{ м};$$

$$\alpha_y = 70^\circ;$$

$$C = 3 \text{ м.}$$

$$WTБ = 15 \cdot \operatorname{ctg} 70^\circ + 3 = 8,4 \text{ м.}$$

Після порівняння розрахункового опору по підшві для наступних рядів свердловин з безпечним значенням $WTБ$ для першого ряду приймається більше значення. Оскільки розрахункове значення для наступних рядів є меншим за $WTБ$, для першого ряду свердловин приймається:

$$W1 = 8,4 \text{ м.}$$

Питома витрата вибухової речовини характеризує кількість ВР, необхідну для руйнування одиниці об'єму гірської породи. Вона залежить від міцності порід, діаметра заряду, висоти уступу, параметрів розташування свердловин і необхідного ступеня дроблення. Для умовного кар'єру за прийнятою методикою розрахунку приймається:

$$q_{кк} = q_{рп} = 1,27 \text{ кг/м}^3.$$

Оскільки корисна копалина і розкривні породи мають однаковий коефіцієнт міцності $f = 14$, для них приймається однакова питома витрата вибухової речовини.

Довжина вертикальної свердловини приймається більшою за висоту уступу на величину перебуру. Перебур необхідний для якісного пророблення підшви уступу та недопущення утворення нерівностей після вибуху. Довжина свердловини визначається за формулою:

$$l_{св} = H_y + l_{пер}, \tag{2.35}$$

де H_y — висота уступу, м;

$l_{\text{пер}}$ — довжина перебуру, м.

Довжина перебуру визначається за формулою:

$$l_{\text{пер}} = 0,15 \cdot H_y + 0,1 \cdot f - 5 \cdot d_3. \quad (2.36)$$

Для прийнятих умов:

$$l_{\text{пер}} = 0,15 \cdot 15 + 0,1 \cdot 14 - 5 \cdot 0,27 = 2,3 \text{ м.}$$

Тоді довжина свердловини становитиме:

$$l_{\text{св}} = 15 + 2,3 = 17,3 \text{ м.}$$

Отже, для буровибухової підготовки порід приймається:

$$l_{\text{пер}} = 2,3 \text{ м;}$$

$$l_{\text{св}} = 17,3 \text{ м.}$$

Прийняте значення перебуру не перевищує рекомендованих меж і забезпечує достатнє пророблення підшви уступу. Надмірне збільшення перебуру є недоцільним, оскільки воно призводить до зайвого порушення масиву нижчого горизонту, збільшення витрат буріння і вибухових речовин, а також ускладнює подальше буріння свердловин. Розраховані параметри свердловинного заряду дають змогу встановити основні елементи схеми розміщення свердловин у вибуховому блоці. При бурінні свердловин важливо забезпечити таке співвідношення між опором по підшві, відстанню між свердловинами і відстанню між рядами, щоб заряд забезпечував достатнє руйнування масиву без надмірного подрібнення порід. Для міцних скельних порід коефіцієнт зближення зарядів повинен бути достатнім для якісного подолання опору по підшві. Якщо відстань між свердловинами першого ряду є недостатньою для забезпечення якісного руйнування масиву, можуть застосовуватись технологічні прийоми коригування схеми буріння. До таких прийомів належать зменшення довжини забивки у

свердловинах першого ряду або застосування спарених свердловин у першому ряді. Спарені свердловини діють як один заряд більшого ефективного діаметра і дають змогу підвищити ефективність руйнування порід перед першим рядом. Для забезпечення ритмічної роботи кар'єру необхідно визначити потрібну кількість бурового устаткування. Кількість бурових верстатів залежить від річної потреби кар'єру в метражі свердловин, виходу гірської маси з одного метра свердловини, змінної продуктивності бурового верстата, кількості змін роботи на добу та кількості робочих діб на рік. Річна потреба у бурінні визначається через загальний обсяг гірничої маси, що потребує буровибухової підготовки, та вихід гірничої маси з одного метра свердловини. Потрібна кількість бурових верстатів визначається за формулою:

$$N_{\text{верст}} = \Sigma l_c / (P_{\text{зм}} \cdot N_{\text{зм}} \cdot N_{\text{р.д.}}), \quad (2.37)$$

де Σl_c — сумарна річна потреба в бурінні свердловин, м;

$P_{\text{зм}}$ — змінна продуктивність бурового верстата, м/зміну;

$N_{\text{зм}}$ — кількість змін роботи бурового устаткування на добу;

$N_{\text{р.д.}}$ — кількість робочих діб на рік.

Для бурового верстата СБШ-250МНА приймається змінна продуктивність:

$$P_{\text{зм}} = 55,8 \text{ м/зміну.}$$

Кількість змін роботи бурового устаткування:

$$N_{\text{зм}} = 3.$$

Кількість робочих діб на рік:

$$N_{\text{р.д.}} = 350.$$

За результатами розрахунку необхідна кількість бурових верстатів становить:

$$N_{\text{верст}} = 2 \text{ шт.}$$

Інвентарна кількість бурових верстатів визначається з урахуванням резерву:

$$N_{\text{верст.інв}} = N_{\text{верст}} \cdot k_p, \quad (2.38)$$

де k_p — коефіцієнт резерву.

Приймається:

$$k_p = 1,2.$$

$$N_{\text{верст.інв}} = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ шт.}$$

З урахуванням округлення в більшу сторону приймається:

$$N_{\text{верст.інв}} = 3 \text{ шт.}$$

Отже, для забезпечення річної продуктивності кар'єру та своєчасної підготовки гірських порід до виймання необхідно передбачити 3 бурові верстати СБШ-250МНА з урахуванням резерву.

Річна витрата вибухової речовини визначається за обсягами скельних порід, що підлягають буровибуховій підготовці, та питомою витратою ВР:

$$Q_{\text{річ}} = (A_{\text{кк}} \cdot q_{\text{кк}} + A_{\text{р}} \cdot q_{\text{р}}) \cdot 0,001, \quad (2.39)$$

де $A_{\text{кк}}$ — річний обсяг робіт по корисній копалині, $\text{м}^3/\text{рік}$;

$A_{\text{р}}$ — річний обсяг робіт по розкривних породах, $\text{м}^3/\text{рік}$;

$q_{\text{кк}}, q_{\text{р}}$ — питома витрата ВР відповідно по корисній копалині та розкривних породах, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для прийнятих умов розрахунку:

$$A_{\text{кк}} = 2000000 \text{ м}^3/\text{рік};$$

$$A_{\text{р}} = 800000 \text{ м}^3/\text{рік};$$

$$q_{\text{кк}} = q_{\text{р}} = 1,27 \text{ кг/м}^3.$$

$$Q_{\text{річ}} = (2000000 \cdot 1,27 + 800000 \cdot 1,27) \cdot 0,001 = 3556 \text{ т/рік}.$$

Отже, орієнтовна річна витрата вибухової речовини становить:

$$Q_{\text{річ}} = 3556 \text{ т/рік}.$$

Для організації заряджання свердловин необхідно передбачити використання зарядних машин, кількість яких залежить від річної витрати ВР, частоти масових вибухів, обсягу одного вибухового блока та часу, відведеного на підготовку вибуху. Частота масових вибухів для розрахункових умов приймається:

$$N_{\text{мас}} = 2 \text{ рази на місяць}.$$

Така періодичність дозволяє забезпечити достатній резерв підірваної гірничої маси для безперебійної роботи екскаваторів і кар'єрного транспорту.

Інвентарна кількість зарядних машин визначається з урахуванням резерву:

$$N_{\text{з.м.інв}} = 1,2 \cdot N_{\text{з.м.}} \quad (2.40)$$

За результатами розрахунку приймається:

$$N_{\text{з.м.інв}} = 9 \text{ шт.}$$

Забивання свердловин після заряджання виконується із застосуванням забивних машин. Їх кількість визначається за річним обсягом гірської маси, що підлягає буровибуховій підготовці, і середньою річною продуктивністю забивної машини. Для розрахунків приймається середня річна продуктивність забивної машини типу ЗС-1:

$$Q_{\text{з}} = 4000000 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Необхідна кількість забивних машин визначається за формулою:

$$N_{\text{заб}} = A / Q_3, \quad (2.41)$$

де A — річний обсяг гірничої маси, що підлягає вибуховій підготовці, $\text{м}^3/\text{рік}$;

Q_3 — річна продуктивність забивної машини, $\text{м}^3/\text{рік}$.

Оскільки річний обсяг гірничої маси, що підлягає підготовці, є меншим за річну продуктивність однієї забивної машини, для умовного кар'єру достатньо прийняти:

$$N_{\text{заб}} = 1 \text{ шт.}$$

Необхідна кількість підривників визначається залежно від річного обсягу гірської маси, що підлягає вибуховій підготовці, рівня механізації зарядних робіт і досягнутої продуктивності праці підривників. За умов повної механізації заряджання і забивання свердловин потреба в персоналі зменшується, однак повинна забезпечувати якісне виконання заряджання, монтажу підривної мережі, контролю готовності блока та дотримання вимог безпеки. Основні параметри буровибухової підготовки гірських порід наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 — Основні параметри підготовки гірських порід до виймання

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Коефіцієнт міцності порід	f	—	14
Висота уступу	H_y	м	15
Кут укосу уступу	α_y	град	70
Буровий верстат	—	—	СБШ-250
Діаметр долота	d_d	м	0,269
Коефіцієнт розширення свердловини	k_p	—	1,02
Діаметр заряду	d_z	м	0,27
Вибухова речовина	—	—	Анемікс
Щільність заряджання	Δ	$\text{кг}/\text{м}^3$	1220
Теплота вибуху ВР	Q	$\text{кДж}/\text{кг}$	2990
Місткість 1 м свердловини	p	$\text{кг}/\text{м}$	69,8

Безпечний опір по підшві	WTБ	м	8,4
Прийнятий опір по підшві першого ряду	W1	м	8,4
Питома витрата ВР	q	кг/м ³	1,27
Довжина перебуру	l _{пер}	м	2,3
Довжина свердловини	l _{св}	м	17,3
Змінна продуктивність бурового верстата	Рзм	м/змину	55,8
Розрахункова кількість бурових верстатів	N _{верст}	шт.	2
Інвентарна кількість бурових верстатів	N _{верст.інв}	шт.	3
Річна витрата ВР	Q _{річ}	т/рік	3556
Кількість масових вибухів	N _{мас}	разів/міс	2
Інвентарна кількість зарядних машин	N _{з.м.інв}	шт.	9
Кількість забивних машин	N _{заб}	шт.	1

Таким чином, для підготовки міцних скельних порід умовного кар'єру до виймання приймається буровибуховий спосіб із застосуванням вертикальних свердловинних зарядів. Для буріння вибухових свердловин обрано буровий верстат СБШ-250, діаметр заряду прийнято 0,27 м, довжина свердловини становить 17,3 м, а довжина перебуру — 2,3 м. Для забезпечення річної виробничої програми кар'єру необхідно передбачити 3 бурові верстати з урахуванням резерву, орієнтовну річну витрату вибухової речовини 3556 т/рік, а також відповідні засоби механізації заряджання і забивання свердловин. Прийняті параметри забезпечують підготовку гірської маси до подальших виймально-навантажувальних робіт і створюють умови для ефективної роботи екскаваторно-транспортного комплексу. Для зв'язку розрахункової частини з реальними умовами розробки доцільно врахувати наявні матеріали ПрАТ «ЦГЗК» щодо організації буровибухових робіт. Підготовка скельних розкривних порід і руди до виймання у кар'єрі № 3 здійснюється буровибуховим способом. Такий спосіб є необхідним у зв'язку з високою міцністю залізистих кварцитів і скельних вміщуючих порід, які не можуть ефективно розроблятися без попереднього руйнування масиву. Якість буровибухової підготовки безпосередньо впливає на продуктивність екскаваторів, тривалість навантаження, роботу автомобільного та залізничного транспорту, кількість

негабариту, втрати й засмічення руди. За наявними виробничими матеріалами для буріння вибухових свердловин у кар'єрі № 3 застосовуються бурові верстати типу СБШ-250МН. Такі верстати призначені для буріння свердловин у міцних скельних породах і відповідають умовам розробки залізрудних родовищ відкритим способом. Необхідна кількість бурових верстатів визначається окремо для рудних блоків і скельного розкриву з урахуванням обсягів гірничої маси, міцності порід, параметрів буровибухових робіт і виробничої програми кар'єру. Основні відомості щодо організації бурових робіт у кар'єрі № 3 наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 — Основні відомості щодо бурових робіт за матеріалами ПрАТ «ЦГЗК»

Показник	Характеристика
Спосіб підготовки порід до виймання	буровибуховий
Породи, що підлягають підриванню	руда та скельні розкривні породи
Тип бурового верстата	СБШ-250МН
Кількість бурових верстатів по руді	2
Кількість бурових верстатів по скельному розкриву	5
Основне призначення бурових робіт	підготовка гірської маси до екскавації та навантаження
Особливість робіт на граничному контурі	застосування контурного підривання похилих свердловин

Вибухові роботи у кар'єрі виконуються спеціалізованою вибуховою організацією з дотриманням вимог безпеки при поводженні з вибуховими матеріалами, організації небезпечної зони, подачі сигналів, евакуації персоналу і техніки та огляду вибою після вибуху. Такий порядок забезпечує контрольоване руйнування масиву і створення безпечних умов для подальшої роботи екскаваторів. Окрему увагу при веденні буровибухових робіт у кар'єрі № 3 приділяють формуванню стійкого граничного контуру. Для зменшення порушення законтурного масиву та підвищення стійкості уступів застосовується контурне підривання похилих свердловин. Буріння свердловин у приконтурній зоні може виконуватися спеціалізованими буровими верстатами, зокрема типу СБШ-

250МНА. Використання такого підходу дозволяє зменшити тріщинуватість порід за проєктним контуром, покращити якість формування укосів і знизити ризик осипів або локальних обвалень. Таким чином, прийняті у розрахунковій частині рішення щодо буровибухової підготовки міцних скельних порід узгоджуються з фактичними технологічними підходами, які застосовуються при відкритій розробці Петрівського родовища. Для кар'єру № 3 буровибухові роботи є ключовою ланкою технологічного процесу, оскільки саме вони забезпечують необхідний ступінь розпушення руди та розкривних порід, продуктивну роботу екскаваторів, стабільність транспортного процесу і безпечне формування робочих уступів.

2.4. Виймально-навантажувальні роботи

Виймально-навантажувальні роботи є однією з основних технологічних ланок відкритої розробки родовищ корисних копалин. Їх призначення полягає у вийманні підготовленої до екскавації гірничої маси з вибою та навантаженні її у транспортні засоби для подальшого переміщення. Ефективність цього процесу безпосередньо впливає на продуктивність кар'єру, ритмічність транспортування гірничої маси, використання транспортного парку, собівартість видобування та загальну організацію гірничих робіт. Для умовного кар'єру, що розробляє міцні скельні породи з коефіцієнтом міцності $f = 14$, виймально-навантажувальні роботи доцільно виконувати одноковшовими кар'єрними екскаваторами типу механічної лопати. Такі екскаватори добре пристосовані для роботи з попередньо підірваною скельною гірничою масою, мають значну місткість ковша, достатнє зусилля копання та забезпечують високу продуктивність при масовому навантаженні корисної копалини і розкривних порід. У розрахунковій частині для виконання виймально-навантажувальних робіт приймається екскаватор типу ЕКГ-12ус. Його застосування є доцільним з огляду на прийняту висоту уступу, параметри робочого майданчика, необхідність розробки міцних порід після буровибухової підготовки та використання автомобільного транспорту. Екскаватор такого типу може забезпечувати ефективне навантаження гірничої маси у кар'єрні автосамоскиди за умови правильної організації під'їзду транспорту до вибою.

Основними технічними параметрами прийнятого екскаватора є:

$E = 12,5 \text{ м}^3$ — місткість ковша;
 $T_{\text{ц}} = 32 \text{ с}$ — теоретична тривалість робочого циклу;
 $R_{\text{ч.у.}} = 17,12 \text{ м}$ — радіус черпання на горизонті установки.

Раніше для цього екскаватора було визначено нормальну ширину заходки:

$A_3 = 25,7 \text{ м}$.

Прийнята ширина заходки забезпечує ефективну роботу механічної лопати у вибої та зменшує кількість зайвих переміщень екскаватора під час розробки уступу.

Технічна продуктивність екскаватора характеризує максимально можливу продуктивність машини в конкретних умовах роботи без урахування організаційних простоїв. Вона залежить від місткості ковша, тривалості робочого циклу, коефіцієнта наповнення ковша та коефіцієнта розпушення породи у ковші.

Для умов розрахунку приймаються такі коефіцієнти:

$k_p = 1,2$ — коефіцієнт розпушення породи у ковші;
 $k_n = 1,1$ — коефіцієнт наповнення ковша.

Технічна годинна продуктивність екскаватора визначається за формулою:

$$Q_{\text{тех}} = 3600 \cdot E \cdot k_n / (T_{\text{ц}} \cdot k_p), \quad (2.42)$$

де E — місткість ковша екскаватора, м^3 ;

k_n — коефіцієнт наповнення ковша;

$T_{\text{ц}}$ — тривалість робочого циклу, с;

k_p — коефіцієнт розпушення породи у ковші.

$$Q_{\text{тех}} = 3600 \cdot 12,5 \cdot 1,1 / (32 \cdot 1,2) = 1289,1 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Отже, технічна продуктивність екскаватора ЕКГ-12ус становить:

$$Q_{\text{тех}} = 1289,1 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Експлуатаційна продуктивність екскаватора враховує не лише технічні можливості машини, але й організацію роботи у вибої, подачу транспорту, допоміжні операції, короточасні затримки та коефіцієнт використання екскаватора у змінному часі.

Для умов розрахунку приймається:

$k_{\text{вик}} = 0,7$ — коефіцієнт використання екскаватора у часі зміни;
 $T_{\text{зм}} = 8 \text{ год}$ — тривалість робочої зміни.

Експлуатаційна змінна продуктивність екскаватора визначається за формулою:

$$Q_{\text{зм}} = Q_{\text{тех}} \cdot k_{\text{вик}} \cdot T_{\text{зм}}, \quad (2.43)$$

$$Q_{\text{зм}} = 1289,1 \cdot 0,7 \cdot 8 = 7219,0 \text{ м}^3/\text{зміну.}$$

Отже, експлуатаційна змінна продуктивність одного екскаватора становить:

$$Q_{\text{зм}} = 7219,0 \text{ м}^3/\text{зміну.}$$

Оскільки кар'єр працює у три зміни на добу, добова продуктивність екскаватора визначається за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{зм}} \cdot N_{\text{зм}}, \quad (2.44)$$

де $N_{\text{зм}}$ — кількість змін на добу.

$$Q_{\text{доб}} = 7219,0 \cdot 3 = 21657,0 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Річна експлуатаційна продуктивність одного екскаватора визначається з урахуванням кількості робочих діб на рік:

$$Q_{\text{річ}} = Q_{\text{доб}} \cdot N_{\text{р.д.}}, \quad (2.45)$$

де $N_{p.d.}$ — кількість робочих діб на рік.

Для умовного кар'єру прийнято:

$$N_{p.d.} = 350 \text{ діб.}$$

$$Q_{p.r.} = 21657,0 \cdot 350 = 7579950 \text{ м}^3/\text{рік.}$$

Отже, річна експлуатаційна продуктивність одного екскаватора ЕКГ-12ус становить приблизно:

$$Q_{p.r.} = 7,58 \text{ млн м}^3/\text{рік.}$$

Визначення необхідної кількості екскаваторів здійснюється окремо для корисної копалини та розкривних порід. Такий підхід є доцільним, оскільки видобувні та розкривні роботи, як правило, виконуються на різних ділянках кар'єру, мають різну організацію фронту робіт і повинні забезпечувати ритмічний розвиток гірничих робіт.

Річна продуктивність кар'єру за корисною копалиною у перерахунку на об'єм становить:

$$Q_{k.k.p.r.} = 606060,6 \text{ м}^3/\text{рік.}$$

Річний обсяг розкривних робіт становить:

$$Q_{p.r.} = 850000 \text{ м}^3/\text{рік.}$$

Необхідна кількість екскаваторів для виймання корисної копалини визначається за формулою:

$$N_{k.k.} = Q_{k.k.p.r.} / Q_{p.r.}, \quad (2.46)$$

$$N_{k.k.} = 606060,6 / 7579950 = 0,08 \text{ шт.}$$

Оскільки розрахункове значення менше одиниці, для забезпечення самостійного видобувного фронту робіт приймається:

$$N_{\text{кк}} = 1 \text{ екскаватор.}$$

Необхідна кількість екскаваторів для розкривних робіт визначається за формулою:

$$N_p = Q_{p.\text{річ}} / Q_{\text{річ}}, \quad (2.47)$$

$$N_p = 850000 / 7579950 = 0,11 \text{ шт.}$$

Оскільки розрахункове значення також менше одиниці, для забезпечення окремого фронту розкривних робіт приймається:

$$N_p = 1 \text{ екскаватор.}$$

Таким чином, робочий парк екскаваторів становить:

$$N_{\text{роб}} = N_{\text{кк}} + N_p, \quad (2.48)$$

$$N_{\text{роб}} = 1 + 1 = 2 \text{ шт.}$$

Інвентарний парк екскаваторів визначається з урахуванням коефіцієнта резерву:

$$N_{\text{інв}} = N_{\text{роб}} \cdot k_{\text{рез}}, \quad (2.49)$$

де $k_{\text{рез}}$ — коефіцієнт резерву.

Для умов розрахунку приймається:

$$k_{\text{рез}} = 1,2.$$

$$N_{\text{інв}} = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ шт.}$$

З урахуванням округлення в більшу сторону приймається:

$N_{\text{інв}} = 3$ екскаватори.

Отже, для забезпечення заданої виробничої потужності умовного кар'єру доцільно передбачити два робочі екскаватори ЕКГ-12ус: один для видобувних робіт по корисній копалині та один для розкривних робіт. З урахуванням резерву інвентарний парк становить 3 екскаватори. Ефективність виймально-навантажувальних робіт значною мірою залежить не лише від продуктивності екскаватора, а й від організації його взаємодії з транспортом. Для забезпечення ритмічної роботи екскаватора необхідно своєчасно подавати автосамоскиди під навантаження, забезпечувати достатню ширину робочого майданчика, дотримуватися безпечних відстаней до бровок уступів, підтримувати належний стан під'їзних доріг і не допускати накопичення транспорту у вибої. Особливу увагу необхідно приділяти якості буровибухової підготовки. Якщо підірвана гірнича маса має надмірну кількість негабариту, продуктивність екскаватора знижується через ускладнення черпання, збільшення тривалості циклу, потребу у вторинному дробленні та нерівномірне заповнення ковша. Якщо ж гірнича маса має оптимальний гранулометричний склад, екскаватор працює стабільніше, а процес навантаження у транспорт відбувається швидше і рівномірніше. Для безпечного ведення виймально-навантажувальних робіт екскаватор повинен розміщуватися за межами призми можливого обрушення уступу. Робочий майданчик має забезпечувати безпечне маневрування автосамоскидів, розміщення екскаватора, під'їзних шляхів, орієнтувального валу, кювету та допоміжного обладнання. Робота екскаватора повинна виконуватися відповідно до затвердженого паспорта вибою або паспорта виймально-навантажувальних робіт. Основні розрахункові показники виймально-навантажувальних робіт наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 — Розрахункові показники виймально-навантажувальних робіт

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Тип екскаватора	—	—	ЕКГ-12ус
Місткість ковша	Е	м ³	12,5
Тривалість робочого циклу	Тц	с	32
Коефіцієнт розпушення породи у ковші	кр	—	1,2
Коефіцієнт наповнення ковша	кн	—	1,1
Коефіцієнт використання у часі зміни	квик	—	0,7
Тривалість зміни	Тзм	год	8
Технічна продуктивність екскаватора	Q _{тех}	м ³ /год	1289,1
Змінна експлуатаційна продуктивність	Q _{зм}	м ³ /зміну	7219,0
Добова експлуатаційна продуктивність	Q _{доб}	м ³ /добу	21657,0
Річна експлуатаційна продуктивність	Q _{річ}	млн м ³ /рік	7,58
Річний обсяг видобутку корисної копалини	Q _{кк.річ}	м ³ /рік	606060,6
Річний обсяг розкривних робіт	Q _{р.річ}	м ³ /рік	850000
Робоча кількість екскаваторів по корисній копалині	N _{кк}	шт.	1
Робоча кількість екскаваторів по розкриву	N _р	шт.	1
Загальний робочий парк екскаваторів	N _{роб}	шт.	2
Коефіцієнт резерву	к _{рез}	—	1,2
Інвентарний парк екскаваторів	N _{інв}	шт.	3

Таким чином, для виконання виймально-навантажувальних робіт в умовному кар'єрі прийнято екскаватор ЕКГ-12ус з місткістю ковша 12,5 м³. Розрахункова змінна продуктивність одного екскаватора становить 7219,0 м³/зміну, добова — 21657,0 м³/добу, річна — близько 7,58 млн м³/рік. Для забезпечення видобувних і розкривних робіт прийнято два робочі екскаватори: один для корисної копалини і один для розкривних порід. З урахуванням резерву інвентарний парк становить 3 екскаватори. Прийняте рішення забезпечує виконання заданої виробничої програми кар'єру та створює основу для подальшого розрахунку транспортного забезпечення. Для конкретизації організації виймально-навантажувальних робіт використано виробничі матеріали ПрАТ «ЦГЗК», зокрема паспорт екскаваторного

вибою. Фрагменти паспорта наведено в додатку Б, а схеми організації роботи екскаватора у скельному вибої, зокрема схеми проходки траншеї, під'їзду автотранспорту, кільцевого і тупикового розвороту, наведено в додатку В.

2.5. Транспортування кар'єрних вантажів

Транспортування кар'єрних вантажів є однією з найважливіших технологічних ланок відкритої розробки родовищ корисних копалин. Його основне призначення полягає у переміщенні корисної копалини від екскаваторних вибоїв до пунктів приймання, складування або подальшої переробки, а розкривних порід — до зовнішніх чи внутрішніх відвалів. Ефективність транспортного процесу значною мірою визначає ритмічність роботи кар'єру, рівень використання екскаваторів, тривалість виробничого циклу та собівартість гірничих робіт. У межах розрахункової частини для умовного кар'єру приймається автомобільний транспорт. Його застосування є доцільним з огляду на прийняту поглиблювальну систему розробки, необхідність обслуговування робочих горизонтів, маневреність автосамоскидів, можливість роботи на тимчасових і змінних трасах, а також здатність долати значні ухили кар'єрних з'їздів. Автомобільний транспорт добре узгоджується з роботою одноковшових екскаваторів типу ЕКГ-12ус і забезпечує гнучку організацію перевезень у межах кар'єрного поля. Основною вимогою до організації автомобільного транспорту є забезпечення безперервної роботи екскаваторів. Це означає, що порожні автосамоскиди повинні подаватися у вибій ритмічно, без затримок, а завантажені машини повинні своєчасно залишати зону навантаження і рухатися до пункту розвантаження. Порушення цієї умови призводить або до простоїв екскаваторів через відсутність транспорту, або до накопичення автосамоскидів у вибої, що погіршує безпеку і знижує ефективність роботи.

Для перевезення гірничої маси в умовному кар'єрі приймається кар'єрний автосамоскид типу БелАЗ вантажопідйомністю:

$$q_a = 130 \text{ т.}$$

Такий тип транспортного засобу доцільно застосовувати в комплексі з екскаватором ЕКГ-12ус, оскільки місткість ковша екскаватора та вантажопідйомність автосамоскида забезпечують раціональну кількість ковшів при навантаженні. За досвідом роботи відкритих гірничих підприємств, доцільним є таке співвідношення місткості ковша екскаватора і кузова автосамоскида, за якого кількість ковшів для завантаження однієї машини становить приблизно 3–5.

Для прийнятого екскаватора тривалість одного робочого циклу становить:

$$t_{\text{ц}} = 32 \text{ с} = 0,53 \text{ хв.}$$

Кількість ковшів, що розвантажуються у кузов автосамоскида, приймається:

$$n_k = 4.$$

Тоді час навантаження одного автосамоскида визначається за формулою:

$$t_n = n_k \cdot t_{\text{ц}}, \quad (2.50)$$

де n_k — кількість ковшів, що розвантажуються у кузов автосамоскида;
 $t_{\text{ц}}$ — тривалість робочого циклу екскаватора, хв.

$$t_n = 4 \cdot 0,53 = 2,12 \text{ хв.}$$

Отже, час навантаження одного автосамоскида становить:

$$t_n = 2,12 \text{ хв.}$$

Корисна маса вантажу за один рейс обмежується вантажопідйомністю автосамоскида. Тому для подальших розрахунків приймається:

$$q_{\text{рейс}} = 130 \text{ т.}$$

Час рейсу автосамоскида включає час навантаження, час руху з вантажем і без вантажу, час розвантаження та час маневрування. Повний час рейсу визначається за формулою:

$$T_p = t_n + t_{рух} + t_r + t_m, \quad (2.51)$$

де t_n — час навантаження, хв;

$t_{рух}$ — час руху автосамоскида з вантажем і без вантажу, хв;

t_r — час розвантаження, хв;

t_m — час маневрування, хв.

Для умовного кар'єру середня довжина руху автосамоскида у вантажному і порожняковому напрямках приймається однаковою:

$$L_{ван} = L_{пор} = 3,041 \text{ км.}$$

Швидкість руху автосамоскида у вантажному напрямку приймається:

$$v_{ван} = 12 \text{ км/год.}$$

Швидкість руху автосамоскида у порожняковому напрямку приймається:

$$v_{пор} = 20 \text{ км/год.}$$

Час руху автосамоскида визначається за формулою:

$$t_{рух} = 60 \cdot (L_{ван} / v_{ван} + L_{пор} / v_{пор}), \quad (2.52)$$

$$t_{рух} = 60 \cdot (3,041 / 12 + 3,041 / 20) = 24,3 \text{ хв.}$$

Час розвантаження для автосамоскидів великої вантажопідйомності приймається:

$$t_r = 1,5 \text{ хв.}$$

Час маневрування при петльовій схемі під'їзду до екскаватора приймається:

$$t_m = 0,4 \text{ хв.}$$

Тоді повний час рейсу становить:

$$T_p = 2,12 + 24,3 + 1,5 + 0,4 = 28,32 \text{ хв.}$$

З урахуванням округлення приймається:

$$T_p = 28,3 \text{ хв.}$$

Кількість автосамоскидів, яка може ефективно використовуватися в комплексі з одним екскаватором за умови ритмічної подачі транспорту, визначається за формулою:

$$N_{a.ек} = T_p / t_n, \quad (2.53)$$

де T_p — повний час рейсу автосамоскида, хв;
 t_n — час навантаження автосамоскида, хв.

$$N_{a.ек} = 28,3 / 2,12 = 13,35 \text{ шт.}$$

З урахуванням округлення в більшу сторону для обслуговування одного екскаватора приймається:

$$N_{a.ек} = 14 \text{ автосамоскидів.}$$

У попередньому підрозділі для забезпечення видобувних і розкривних робіт було прийнято два робочі екскаватори: один для корисної копалини та один для розкривних порід. Тому робоча кількість автосамоскидів для забезпечення ритмічної роботи двох екскаваторів становитиме:

$$N_{a.роб} = N_{a.ек} \cdot N_{ек}, \quad (2.54)$$

де $N_{ек}$ — кількість робочих екскаваторів.

$$N_{a.роб} = 14 \cdot 2 = 28 \text{ шт.}$$

Отже, робочий парк автосамоскидів приймається:

$$N_{a.роб} = 28 \text{ шт.}$$

Змінна продуктивність одного автосамоскида визначається з урахуванням вантажопідйомності, тривалості зміни, повного часу рейсу і коефіцієнта використання автосамоскида у часі:

$$Q_{a.зм} = q_a \cdot T_{зм} / T_p \cdot k_{в.а.}, \quad (2.55)$$

де q_a — вантажопідйомність автосамоскида, т;

$T_{зм}$ — тривалість зміни, год;

T_p — час рейсу, год;

$k_{в.а.}$ — коефіцієнт використання автосамоскида в часі.

Для розрахунку приймається:

$$q_a = 130 \text{ т};$$

$$T_{зм} = 8 \text{ год};$$

$$T_p = 28,3 \text{ хв} = 0,472 \text{ год};$$

$$k_{в.а.} = 0,75.$$

$$Q_{a.зм} = 130 \cdot 8 / 0,472 \cdot 0,75 = 1652,5 \text{ т/зміну.}$$

Отже, змінна експлуатаційна продуктивність одного автосамоскида становить:

$$Q_{a.зм} = 1652,5 \text{ т/зміну.}$$

Добова продуктивність одного автосамоскида при тризмінному режимі роботи становить:

$$Q_{a.доб} = Q_{a.зм} \cdot N_{зм}, \quad (2.56)$$

$$Q_{a.доб} = 1652,5 \cdot 3 = 4957,5 \text{ т/добу.}$$

Річна продуктивність одного автосамоскида визначається за формулою:

$$Q_{a.річ} = Q_{a.доб} \cdot N_{р.д.}, \quad (2.57)$$

$$Q_{a.річ} = 4957,5 \cdot 350 = 1735125 \text{ т/рік.}$$

Отже, річна експлуатаційна продуктивність одного автосамоскида становить приблизно:

$$Q_{a.річ} = 1,74 \text{ млн т/рік.}$$

Інвентарний парк автосамоскидів визначається з урахуванням того, що частина машин постійно перебуває на технічному обслуговуванні або ремонті. Для цього використовується коефіцієнт технічної готовності парку:

$$k_{т.г.} = 0,8.$$

Інвентарна кількість автосамоскидів визначається за формулою:

$$N_{a.інв} = N_{a.роб} / k_{т.г.}, \quad (2.58)$$

$$N_{a.інв} = 28 / 0,8 = 35 \text{ шт.}$$

Отже, інвентарний парк автосамоскидів приймається:

$$N_{a.інв} = 35 \text{ шт.}$$

Прийнята кількість автосамоскидів забезпечує ритмічне транспортне обслуговування двох робочих екскаваторів за умови безперервної роботи виймально-навантажувального комплексу. Фактична кількість машин, що одночасно працюють на окремому вантажопотоці, може уточнюватися диспетчерським графіком залежно від добового завдання, відстані транспортування, стану кар'єрних доріг, пунктів розвантаження, режиму роботи відвалів і фактичної продуктивності екскаваторів. Для забезпечення безпечної та продуктивної роботи автосамоскидів у кар'єрі необхідно підтримувати належний

стан транспортних комунікацій. Кар'єрні дороги повинні мати достатню ширину проїзної частини, нормативні ухили, безпечні радіуси поворотів, водовідвідні канами, узбіччя та орієнтувальні вали. Особливу увагу необхідно приділяти стану доріг у зонах підйому з нижніх горизонтів, на поворотах, у місцях примикання до робочих майданчиків і на ділянках розвантаження. Схема обміну автосамоскидів в екскаваторному вибої повинна забезпечувати мінімальні простої екскаватора і транспорту. Найбільш доцільною для умовного кар'єру є петльова або кільцева схема подачі автосамоскидів під навантаження. За такої схеми порожній автосамоскид під'їжджає до екскаватора, стає під навантаження, після заповнення кузова виїжджає з вибою без складного маневрування, а наступна машина займає його місце. Це дає змогу скоротити час маневрів, підвищити безпеку руху і забезпечити безперервну роботу екскаватора.

У процесі експлуатації автомобільного транспорту необхідно дотримуватися таких організаційних вимог:

- забезпечувати ритмічну подачу порожніх автосамоскидів під навантаження;
- не допускати простоїв екскаваторів через відсутність транспорту;
- уникати скупчення машин у зоні навантаження;
- підтримувати кар'єрні дороги у справному технічному стані;
- контролювати швидкість руху на спусках, підйомах і поворотах;
- забезпечувати належне освітлення доріг і робочих майданчиків у темний час доби;
- виконувати рух автосамоскидів відповідно до затвердженої транспортної схеми;
- дотримуватися безпечних відстаней між транспортними засобами.

Основні розрахункові показники транспортування кар'єрних вантажів наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 — Розрахункові показники автомобільного транспорту

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Вид транспорту	—	—	автомобільний
Тип автосамоскида	—	—	БелАЗ
Вантажопідйомність автосамоскида	qa	т	130
Тип екскаватора	—	—	ЕКГ-12ус
Місткість ковша екскаватора	Е	м³	12,5
Кількість ковшів у кузов автосамоскида	пк	шт.	4
Тривалість циклу екскаватора	тц	хв	0,53
Час навантаження автосамоскида	тн	хв	2,12
Довжина руху з вантажем	Lван	км	3,041
Довжина руху без вантажу	Lпор	км	3,041
Швидкість руху з вантажем	vван	км/год	12
Швидкість руху без вантажу	vпор	км/год	20
Час руху	трух	хв	24,3
Час розвантаження	тр	хв	1,5
Час маневрування	tm	хв	0,4
Повний час рейсу	Тр	хв	28,3
Кількість автосамоскидів на один екскаватор	Na.ек	шт.	14
Кількість робочих екскаваторів	Nек	шт.	2
Робочий парк автосамоскидів	Na.роб	шт.	28
Коефіцієнт технічної готовності	кт.г.	—	0,8
Інвентарний парк автосамоскидів	Na.інв	шт.	35
Змінна продуктивність одного автосамоскида	Qa.зм	т/зміну	1652,5
Добова продуктивність одного автосамоскида	Qa.доб	т/добу	4957,5
Річна продуктивність одного автосамоскида	Qa.річ	млн т/рік	1,74

Таким чином, для транспортування кар'єрних вантажів в умовному кар'єрі прийнято автомобільний транспорт із використанням автосамоскидів вантажопідйомністю 130 т. Повний час рейсу автосамоскида становить 28,3 хв, час

навантаження — 2,12 хв, а кількість машин, необхідна для ритмічного обслуговування одного екскаватора, становить 14 одиниць. Для двох робочих екскаваторів робочий парк автосамоскидів прийнято 28 машин, а інвентарний парк з урахуванням технічної готовності — 35 машин. Прийнята транспортна схема забезпечує узгоджену роботу екскаваторно-автомобільного комплексу і створює умови для стабільного виконання виробничої програми кар'єру. Для конкретизації транспортної схеми за умовами реального об'єкта дослідження доцільно врахувати матеріали ПрАТ «ЦГЗК» щодо організації транспортування гірничої маси. На відміну від умовного кар'єру, для якого в розрахунковій частині прийнято автомобільний транспорт, у кар'єрі застосовується комбінована автомобільно-залізнична транспортна схема. Така схема зумовлена значною глибиною кар'єру, великими обсягами переміщення руди і розкривних порід, наявністю різних робочих горизонтів, а також необхідністю раціонального поєднання маневреності автомобільного транспорту з високою провізною здатністю залізничного транспорту. Автомобільний транспорт доцільний на робочих горизонтах і в зонах, де фронт робіт змінюється, а залізничний транспорт ефективний для переміщення значних вантажопотоків на магістральних напрямках. За наявними виробничими матеріалами видобута руда в межах кар'єру транспортується до внутрішньокар'єрного перевантажувального пункту, після чого залізничним транспортом доставляється на збагачувальну фабрику комбінату. Рудно-розкривний перевантажувальний пункт № 1 розташований на північно-західному борту кар'єру на відмітках приблизно -85 / 75 м. Розкривний перевантажувальний пункт № 2 розташований на південно-західному борту кар'єру на відмітках приблизно -95 / 85 м. Транспортування розкривних порід також здійснюється за комбінованою схемою. Вище горизонту 75 м можливе безпосереднє навантаження розкривних порід у залізничний транспорт, а на горизонті 75 м і нижче використовується автомобільний транспорт. Такий підхід дозволяє зменшити довжину автомобільного перевезення, скоротити витрати часу на транспортний цикл, забезпечити гнучке обслуговування нижчих горизонтів і водночас використовувати переваги залізничного транспорту для переміщення великих

обсягів гірничої маси. Основні елементи транспортної схеми за матеріалами ПрАТ «ЦГЗК» наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 — Основні елементи транспортної схеми за матеріалами ПрАТ «ЦГЗК»

Елемент транспортної схеми	Характеристика
Загальний тип транспортної схеми	комбінована автомобільно-залізнична
Транспортування руди в межах кар'єру	до внутрішньокар'єрного перевантажувального пункту
Подальше транспортування руди	залізничним транспортом на збагачувальну фабрику
Рудно-розкривний перевантажувальний пункт № 1	північно-західний борт кар'єру, відмітки приблизно -85 / 75 м
Розкривний перевантажувальний пункт № 2	південно-західний борт кар'єру, відмітки приблизно -95 / 85 м
Транспортування розкриву вище горизонту 75 м	безпосереднє навантаження у залізничний транспорт
Транспортування розкриву на горизонті 75 м і нижче	автомобільний транспорт
Основна перевага схеми	поєднання маневреності автотранспорту з провізною здатністю залізничного транспорту

Застосування комбінованої транспортної схеми є важливим напрямом оптимізації видобувних робіт у кар'єрі № 3. Автомобільний транспорт забезпечує оперативне обслуговування робочих горизонтів, можливість швидкої зміни маршрутів і гнучку взаємодію з екскаваторами. Залізничний транспорт, у свою чергу, забезпечує ефективне переміщення значних обсягів руди та розкривних порід на більші відстані, знижуючи навантаження на автосамоскидний парк. Внутрішньокар'єрні перевантажувальні пункти виконують важливу роль у скороченні плеча автомобільного транспортування. Завдяки їх використанню автосамоскиди можуть працювати переважно на ділянках між екскаваторними вибоями та перевантажувальними пунктами, а подальше переміщення вантажів виконується залізничним транспортом. Це сприяє зменшенню тривалості рейсу автосамоскидів, скороченню витрат палива, підвищенню продуктивності

транспортного комплексу і зниженню собівартості переміщення гірничої маси. Окремі схеми під'їзду автотранспорту до екскаватора, організації руху автосамоскидів у вибої, кільцевого і тупикового розвороту наведено в додатку В. Для умовного кар'єру в розрахунковій частині прийнято автомобільну транспортну схему, що дозволяє визначити необхідний парк автосамоскидів і оцінити взаємодію екскаваторно-автомобільного комплексу. Разом з тим наявні матеріали по кар'єру № 3 показують, що в реальних умовах глибокого залізрудного кар'єру більш раціональним є використання комбінованого автомобільно-залізничного транспорту. Це підтверджує важливість подальшої оптимізації транспортної ланки як одного з ключових факторів підвищення ефективності видобувних робіт. Таким чином, транспортна система кар'єру № 3 має складну багаторівневу організацію та поєднує автомобільний і залізничний транспорт. Саме транспортна ланка значною мірою визначає ритмічність роботи екскаваторів, швидкість переміщення руди і розкривних порід, рівень простоїв обладнання та загальну ефективність відкритої розробки Петрівського родовища.

2.6. Відвалоутворення розкривних порід

Відвалоутворення розкривних порід є складовою частиною технологічного процесу відкритої розробки родовищ корисних копалин. Його призначення полягає у прийманні, розміщенні, плануванні та формуванні відвальних масивів із порід, які видаляються з кар'єру під час розкриття, підготовки та ведення видобувних робіт. Раціональна організація відвалоутворення має важливе значення для забезпечення безперервності роботи кар'єру, зменшення транспортних витрат, підтримання стійкості відвальних укосів і створення умов для подальшої рекультивациі порушених земель. При розробці умовного родовища розкривні породи транспортуються з кар'єру автомобільним транспортом. За таких умов доцільно прийняти бульдозерне відвалоутворення, яке широко застосовується при доставці порід автосамоскидами. Сутність цього способу полягає в тому, що автосамоскиди розвантажують розкривні породи поблизу бровки або на робочій площадці відвалу, після чого бульдозери переміщують, розрівнюють і планують

породу, формуючи відвальний ярус. Бульдозерні відвали характеризуються відносною простотою організації робіт, високою маневреністю, можливістю швидкого перенесення фронту відвалоутворення та ефективною взаємодією з автомобільним транспортом. Такий спосіб є доцільним для умовного кар'єру, оскільки основним видом транспорту в розрахунковій частині прийнято автосамоскиди вантажопідйомністю 130 т.

Основними завданнями при проектуванні відвалоутворення є:

- визначення необхідної площі під відвал;
- вибір висоти відвалу та кількості ярусів;
- визначення кількості автосамоскидів, що одночасно розвантажуються;
- визначення довжини фронту розвантаження;
- обґрунтування необхідної кількості відвального обладнання;
- забезпечення стійкості відвального масиву;
- створення умов для подальшої рекультивації земель.

У попередніх розрахунках встановлено, що загальний об'єм розкривних порід у кінцевих контурах умовного кар'єру становить:

$$V_p = 86\,403\,956,7 \text{ м}^3.$$

Річний обсяг розкривних робіт прийнято:

$$Q_{p.\text{річ}} = 850\,000 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Для розміщення розкривних порід у відвалі необхідно враховувати залишкове розпушення порід після їх складування. Коефіцієнт залишкового розпушення для розкривних порід приймається:

$$K_{p.v} = 1,2.$$

Відвал приймається двоярусним. Висота відвалу становить:

$$H_v = 30 \text{ м.}$$

Коефіцієнт використання площі відвалу для двоярусного відвалу приймається:

$$K_{вик.v} = 0,65.$$

Необхідна площа під відвал для розміщення загального об'єму розкривних порід визначається за формулою:

$$S_v = V_p \cdot K_{p.v} / (H_v \cdot K_{вик.v}), \quad (2.59)$$

де V_p — об'єм розкривних порід, що підлягає розміщенню у відвалі, м^3 ;
 $K_{p.v}$ — коефіцієнт залишкового розпушення породи у відвалі;
 H_v — висота відвалу, м ;
 $K_{вик.v}$ — коефіцієнт використання площі відвалу.

$$S_v = 86\,403\,956,7 \cdot 1,2 / (30 \cdot 0,65) = 5\,317\,166,6 \text{ м}^2.$$

У перерахунку на гектари:

$$S_v = 531,7 \text{ га.}$$

Отже, для розміщення всього обсягу розкривних порід у межах кінцевих контурів кар'єру необхідна площа відвалу становить приблизно 531,7 га.

Для оцінки щорічної потреби у площі відвалоутворення визначається площа, необхідна для розміщення річного обсягу розкривних порід:

$$S_{v.річ} = Q_{p.річ} \cdot K_{p.v} / (H_v \cdot K_{вик.v}), \quad (2.60)$$

$$S_{v.річ} = 850\,000 \cdot 1,2 / (30 \cdot 0,65) = 52\,307,7 \text{ м}^2.$$

У перерахунку на гектари:

$$S_{в.річ} = 5,23 \text{ га/рік.}$$

Отже, щорічно для розміщення розкривних порід потрібно орієнтовно 5,23 га площі відвалу за прийнятої висоти відвалу та коефіцієнта використання площі.

Кількість автосамоскидів, що одночасно розвантажуються на відвалі, визначається за формулою:

$$N_{a.від} = Q_{р.год} \cdot K_{нер} \cdot t_{рм} / (60 \cdot V_a), \quad (2.61)$$

де $Q_{р.год}$ — годинна продуктивність кар'єру по розкривних породах, $m^3/год$;

$K_{нер}$ — коефіцієнт нерівномірності роботи кар'єру;

$t_{рм}$ — час розвантаження і маневрування автосамоскида на відвалі, хв;

V_a — об'єм розкривної породи, що перевозиться автосамоскидом за один рейс, m^3 .

Годинна продуктивність кар'єру по розкривних породах визначається за формулою:

$$Q_{р.год} = Q_{р.річ} / (N_{р.д.} \cdot N_{зм} \cdot T_{зм}), \quad (2.62)$$

де $Q_{р.річ}$ — річний обсяг розкривних робіт, $m^3/рік$;

$N_{р.д.}$ — кількість робочих діб на рік;

$N_{зм}$ — кількість змін на добу;

$T_{зм}$ — тривалість зміни, год.

$$Q_{р.год} = 850\,000 / (350 \cdot 3 \cdot 8) = 101,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Об'єм розкривної породи, що перевозиться автосамоскидом за один рейс, визначається за формулою:

$$V_a = q_a / \rho_{рп}, \quad (2.63)$$

де q_a — вантажопідйомність автосамоскида, т;

ρ_{pp} — густина розкритих порід, т/м³.

$$V_a = 130 / 2,9 = 44,8 \text{ м}^3.$$

Для розрахунку приймається:

$$\frac{K_{нер}}{t_{рм}} = 1,3; \quad t_{рм} = 2 \text{ хв.}$$

Тоді кількість автосамоскидів, що одночасно розвантажуються, становить:

$$N_{a.від} = 101,2 \cdot 1,3 \cdot 2 / (60 \cdot 44,8) = 0,098 \text{ шт.}$$

Оскільки розрахункове значення менше одиниці, для практичної організації робіт приймається:

$$N_{a.від} = 1 \text{ автосамоскид.}$$

Довжина фронту розвантаження визначається за формулою:

$$L_{фр} = N_{a.від} \cdot L_{п}, \quad (2.64)$$

де $L_{п}$ — ширина фронту відвалу, що обслуговується одним автосамоскидом, м.

Для розрахунку приймається:

$$L_{п} = 20 \text{ м.}$$

$$L_{фр} = 1 \cdot 20 = 20 \text{ м.}$$

Отже, мінімальна довжина фронту розвантаження становить:

$$L_{фр} = 20 \text{ м.}$$

Для забезпечення більш зручної роботи автосамоскидів, зменшення маневрування і створення резерву робочого простору доцільно приймати фактичну довжину фронту розвантаження не меншою за 40 м. Це дає можливість одночасно організувати роботу одного автосамоскида на розвантаженні та забезпечити під'їзд наступної машини без створення небезпечних ситуацій. Розрівнювання і планування розкривних порід на відвалі виконується бульдозером. Бульдозерне обладнання забезпечує переміщення породи від місця розвантаження, формування відвального укосу, планування поверхні ярусу, створення безпечного майданчика для руху автосамоскидів і підтримання необхідного профілю відвалу.

Необхідна кількість бульдозерів визначається за змінним обсягом розкривних порід і змінною продуктивністю бульдозера:

$$N_b = Q_{p.зм} / Q_{б.зм}, \quad (2.65)$$

де $Q_{p.зм}$ — змінний обсяг розкривних робіт, $m^3/зміну$;

$Q_{б.зм}$ — змінна продуктивність бульдозера на відвальних роботах, $m^3/зміну$.

У попередніх розрахунках змінний обсяг розкривних робіт становить:

$$Q_{p.зм} = 809,5 \text{ м}^3/\text{зміну}.$$

Для умовного розрахунку приймається змінна продуктивність бульдозера на відвальних роботах:

$$Q_{б.зм} = 1000 \text{ м}^3/\text{зміну}.$$

Тоді потрібна кількість робочих бульдозерів становить:

$$N_b = 809,5 / 1000 = 0,81 \text{ шт.}$$

З урахуванням округлення приймається:

$$N_{б.роб} = 1 \text{ бульдозер.}$$

Інвентарна кількість бульдозерів визначається з урахуванням резерву:

$$N_{б.інв} = N_{б.роб} \cdot K_{рез}, \quad (2.66)$$

де $K_{рез}$ — коефіцієнт резерву.

Приймається:

$$K_{рез} = 1,2.$$

$$N_{б.інв} = 1 \cdot 1,2 = 1,2 \text{ шт.}$$

З урахуванням необхідності резерву та можливих простоїв обладнання приймається:

$$N_{б.інв} = 2 \text{ бульдозери.}$$

Роботи з відвалоутворення повинні виконуватися з дотриманням вимог безпеки. Особливу увагу необхідно приділяти стійкості відвального укосу, безпечній відстані від місця розвантаження автосамоскидів до бровки відвалу, стану під'їзних доріг, наявності орієнтувального валу та справності бульдозерного обладнання. Розвантаження автосамоскидів безпосередньо біля бровки відвалу допускається лише за наявності безпечного захисного валу та при дотриманні встановленої технологічної схеми. Раціональна організація відвалоутворення має також екологічне значення. Відвали займають значні площі, змінюють рельєф місцевості, можуть бути джерелом пиловиділення і впливати на поверхневий стік. Тому при формуванні відвалів необхідно передбачати заходи з пилопригнічення, водовідведення, укріплення укосів, поетапного планування поверхні та подальшої рекультивації. Основні розрахункові показники відвалоутворення розкривних порід наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 — Розрахункові показники відвалоутворення розкривних порід

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Загальний об'єм розкривних порід	V _p	млн м ³	86,40
Річний обсяг розкривних робіт	Q _{p.річ}	м ³ /рік	850000
Тип відвалу	—	—	бульдозерний
Коефіцієнт залишкового розпушення	K _{p.в}	—	1,2
Висота відвалу	H _в	м	30
Коефіцієнт використання площі відвалу	K _{вик.в}	—	0,65
Необхідна площа відвалу на весь обсяг розкриву	S _в	га	531,7
Річна потреба у площі відвалу	S _{в.річ}	га/рік	5,23
Годинна продуктивність по розкриву	Q _{p.год}	м ³ /год	101,2
Об'єм породи за один рейс автосамоскида	V _a	м ³	44,8
Кількість автосамоскидів на розвантаженні	N _{a.від}	шт.	1
Мінімальна довжина фронту розвантаження	L _{фр}	м	20
Рекомендована фактична довжина фронту	L _{фр}	м	40
Змінний обсяг розкривних робіт	Q _{p.зм}	м ³ /зміну	809,5
Змінна продуктивність бульдозера	Q _{б.зм}	м ³ /зміну	1000
Робоча кількість бульдозерів	N _{б.роб}	шт.	1
Інвентарна кількість бульдозерів	N _{б.інв}	шт.	2

Таким чином, для умовного кар'єру прийнято бульдозерне відвалоутворення розкривних порід. Загальний обсяг розкриву в кінцевих контурах кар'єру становить 86,40 млн м³, а необхідна площа відвалу для його розміщення — близько 531,7 га. Річна потреба у площі відвалоутворення становить приблизно 5,23 га. Для організації розвантаження прийнято один автосамоскид на фронті відвалу, мінімальну довжину фронту розвантаження 20 м і рекомендовану фактичну довжину 40 м. Для планування та формування відвального ярусу прийнято один робочий бульдозер, а з урахуванням резерву — два бульдозери в інвентарному парку. Для конкретизації питань відвалоутворення за умовами реального об'єкта

дослідження доцільно врахувати матеріали ПрАТ «ЦГЗК» щодо організації відвального господарства. На відміну від умовного розрахунку, де прийнято узагальнену схему бульдозерного відвалоутворення, у кар'єрі № 3 система складування розкривних порід має складнішу структуру та включає декілька зовнішніх і тимчасових відвалів. Відвальне господарство кар'єру № 3 призначене для приймання і складування значних обсягів розкривних порід, які видаляються з кар'єру під час розкриття, підготовки та ведення видобувних робіт. Його організація безпосередньо пов'язана з транспортною схемою кар'єру, оскільки відстань до відвалів, спосіб доставки порід, тип відвального обладнання та місткість відвальних площ впливають на собівартість переміщення розкриття і ритмічність розвитку гірничих робіт. За наявними виробничими матеріалами для складування розкривних порід використовуються відвал № 1, відвал № 2, відвал № 3 та тимчасовий відвал. Основні характеристики цих відвалів наведено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 — Основні характеристики відвального господарства кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК»

Елемент відвального господарства	Основна характеристика
Відвал № 1	двоюрусний відвал, розташований поблизу південно-західного борту кар'єру; проєктна місткість близько 34,0 млн м ³ ; площа близько 80 га; висота ярусу 15 м
Відвал № 2	багаторусний відвал, розташований на відстані близько 12 км від кар'єру; площа близько 140 га; проєктна місткість близько 48,7 млн м ³ ; доставка розкривних порід здійснюється переважно залізничним транспортом
Тимчасовий відвал кар'єру № 3	розташований у північному торці кар'єру на площі непогашених балансових запасів; площа близько 50,6 га
Відвал № 3	зовнішній відвал, розташований в Йосипівській балці; площа близько 156 га; проєктна місткість близько 60,1 млн м ³
Загальний тип відвалоутворення	зовнішнє відвалоутворення з використанням екскаваторного, бульдозерного та транспортного обладнання

Наведені характеристики свідчать, що відвальне господарство кар'єру № 3 має значну просторову протяжність і потребує раціональної організації транспортних потоків розкривних порід. Наявність кількох відвалів дозволяє розподіляти обсяги розкриву залежно від напрямку розвитку гірничих робіт, відстані транспортування, виду транспорту та поточного стану відвальних площ. Особливе значення має тимчасовий відвал кар'єру № 3, розташований у північному торці кар'єру. Його використання пов'язане з необхідністю тимчасового складування порід у межах кар'єрного поля, що може бути доцільним на окремих етапах розвитку гірничих робіт. Водночас розміщення тимчасового відвалу на площі непогашених балансових запасів потребує подальшого врахування при плануванні відпрацювання родовища, оскільки у перспективі може виникати необхідність переміщення таких порід у зовнішні відвали. За наявними матеріалами також передбачається використання перспективного екскаваторно-бульдозерного відвалу для складування значних обсягів розкривних порід. Його основні параметри наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 — Параметри перспективного екскаваторно-бульдозерного відвалу

Показник	Одиниця виміру	Значення
Площа екскаваторно-бульдозерного відвалу	га	492,7
Загальний обсяг складування розкривних порід	млн м ³	271,0
Обсяг складування в екскаваторній частині	млн м ³	259,9
Обсяг складування в бульдозерній частині	млн м ³	11,1
Загальна площа відвалів	га	581,9
Основне відвальне обладнання	—	екскаватори ЕКГ-8І та бульдозери

Поєднання екскаваторного і бульдозерного способів формування відвалів дозволяє ефективніше організувати складування розкривних порід за значних обсягів гірничої маси. Екскаваторна частина відвалу забезпечує приймання і

формування основного обсягу порід, а бульдозерна частина використовується для розрівнювання, планування, переміщення порід на відвальній площадці та формування безпечного профілю відвального ярусу. Для кар'єру № 3 раціональна організація відвалоутворення має важливе технологічне та економічне значення. Значні відстані до зовнішніх відвалів, великі обсяги розкриву і необхідність узгодження роботи екскаваторів, автосамоскидів, залізничного транспорту та відвального обладнання зумовлюють потребу в оптимізації вантажопотоків розкривних порід. Нераціональна організація відвалоутворення може призводити до збільшення тривалості транспортного циклу, простоїв обладнання, перевитрат палива і затримки розкриття нових рудних горизонтів. Відвалоутворення також має екологічне значення, оскільки відвали займають значні площі, змінюють природний рельєф, можуть бути джерелом пиловиділення та впливати на поверхневий стік. Тому при формуванні відвалів необхідно передбачати стійкість відвальних укосів, організацію водовідведення, пилопригнічення, поетапне планування поверхні, недопущення самовільного розміщення порід за межами визначених площ і подальшу рекультивацію порушених земель. Порівняння розрахункових показників умовного відвалу з наявними виробничими матеріалами показує, що питання відвалоутворення для Петрівського родовища має комплексний характер. У розрахунковій частині визначено необхідну площу для розміщення розкривних порід і потребу у відвальному обладнанні, тоді як виробничі матеріали підприємства показують реальну багатокomпонентну систему зовнішніх і тимчасових відвалів. Це підтверджує, що відвалоутворення є важливою складовою оптимізації видобувних робіт, оскільки воно безпосередньо впливає на транспортні витрати, темпи розвитку гірничих робіт, екологічний стан території та можливість подальшої рекультивації. Таким чином, для умовного кар'єру в розрахунковій частині прийнято бульдозерне відвалоутворення, що дозволяє визначити основні параметри відвалу та потребу у відвальному обладнанні. Разом з тим наявні матеріали ПрАТ «ЦГЗК» свідчать, що в реальних умовах Петрівського родовища відвальне господарство має розгалужену структуру і включає декілька зовнішніх та тимчасових відвалів. Оптимізація відвалоутворення для такого

об'єкта повинна бути спрямована на скорочення транспортних витрат, раціональний розподіл розкривних порід між відвалами, забезпечення стійкості відвальних масивів, зменшення пилового впливу та створення умов для подальшої рекультивації.

2.7. Рекультивація земель, порушених гірничими роботами

Відкрита розробка родовищ корисних копалин супроводжується значним порушенням земельних ресурсів. У процесі ведення гірничих робіт змінюється природний рельєф місцевості, утворюються кар'єрні виїмки, зовнішні та внутрішні відвали, технологічні дороги, майданчики для розміщення обладнання, водовідвідні споруди та інші об'єкти гірничої інфраструктури. У зв'язку з цим рекультивація земель є важливою складовою завершального етапу відкритої розробки родовища та одним із основних напрямів зменшення негативного впливу гірничого виробництва на навколишнє середовище. Рекультивація земель — це комплекс гірничотехнічних, інженерних, агротехнічних, меліоративних і біологічних заходів, спрямованих на відновлення господарської, природоохоронної, санітарно-гігієнічної або рекреаційної цінності територій, порушених гірничими роботами. Основною метою рекультивації є приведення порушених земель у стан, придатний для подальшого використання, зниження небезпеки ерозійних процесів, пиловиділення, зсувів, підтоплення, а також створення безпечних умов для подальшої експлуатації або передачі територій для іншого призначення. При відкритій розробці родовищ найбільш значні порушення земель пов'язані з формуванням кар'єрної виїмки та відвалів розкривних порід. Кар'єрна виїмка після завершення гірничих робіт має значну глибину, складну конфігурацію бортів і уступів, а також може накопичувати атмосферні та підземні води. Відвали розкривних порід займають значні площі, змінюють рельєф, можуть бути джерелом пилу, а за недостатньої стійкості укосів — створювати небезпеку зсувних процесів. Тому під час планування рекультиваційних заходів необхідно враховувати як гірничо-технічні, так і екологічні умови конкретного об'єкта. Рекультивація земель, порушених гірничими роботами, зазвичай виконується у два

основні етапи: технічний і біологічний. Технічний етап рекультивації передбачає виконання гірничотехнічних та інженерних робіт, спрямованих на підготовку порушених земель до подальшого використання. До основних заходів технічного етапу належать:

- планування поверхні відвалів;
- виположування або терасування укосів;
- формування безпечного профілю відвальних масивів;
- засипання небезпечних виїмок або вирівнювання окремих ділянок;
- улаштування водовідвідних каналів і дренажних споруд;
- укріплення укосів для запобігання ерозії та зсувам;
- нанесення родючого шару ґрунту або потенційно родючих порід;
- підготовка поверхні до біологічної рекультивації.

Особливе значення на технічному етапі має правильне формування поверхні відвалів. Відвальні масиви повинні мати стійкі укоси, достатню ширину берм, організовану систему поверхневого водовідведення та сплановану поверхню, придатну для подальшого нанесення родючого шару ґрунту. Планування поверхні відвалу зменшує інтенсивність водної ерозії, полегшує виконання біологічної рекультивації та підвищує безпеку території. Під час формування відвалів необхідно передбачати можливість їх подальшої рекультивації ще на стадії ведення гірничих робіт. Це означає, що розміщення порід у відвалі, висота ярусів, кут укосу, розташування транспортних берм, водовідвідних каналів і під'їзних шляхів повинні відповідати не лише поточним виробничим вимогам, а й майбутнім рекультиваційним заходам. Такий підхід дозволяє зменшити обсяг додаткових робіт після завершення експлуатації відвалу. Біологічний етап рекультивації виконується після завершення технічної підготовки території. Його метою є

відновлення рослинного покриву, поліпшення ґрунтових умов, зменшення пиловиділення, стабілізація поверхні відвалів і створення умов для подальшого природного розвитку території. Біологічна рекультивація може включати агрохімічне поліпшення ґрунтів, внесення органічних і мінеральних добрив, посів багаторічних трав, висаджування дерев і кущів, догляд за рослинністю та моніторинг приживлюваності насаджень. Вибір напрямку рекультивації залежить від природних умов району, властивостей порід, рельєфу порушеної території, гідрогеологічних умов, екологічних обмежень і подальшого призначення земель. Для територій, порушених відкритими гірничими роботами, можуть застосовуватися такі основні напрями рекультивації:

- сільськогосподарський;
- лісогосподарський;
- водогосподарський;
- рекреаційний;
- санітарно-гігієнічний;
- природоохоронний;
- промисловий або будівельний.

Для відвалів розкривних порід найбільш поширеними є лісогосподарський, санітарно-гігієнічний і природоохоронний напрями рекультивації. Лісогосподарський напрям передбачає створення лісових насаджень, які закріплюють поверхню відвалів, зменшують пиловиділення, поліпшують мікроклімат і сприяють поступовому відновленню екосистем. Санітарно-гігієнічний напрям спрямований на зменшення негативного впливу порушених земель на довкілля і населення. Природоохоронний напрям передбачає створення умов для формування стабільних рослинних угруповань і відновлення природних

функцій території. Для кар'єрних виїмок можливим є водогосподарський або рекреаційний напрям рекультивації, якщо після завершення гірничих робіт передбачається утворення водойми. Такий варіант потребує попереднього обґрунтування гідрогеологічних умов, якості води, стійкості бортів кар'єру, безпеки прилеглої території та можливості подальшого використання водойми. У разі неможливості повного відновлення території до попереднього стану рекультиваційні заходи повинні забезпечити її безпечний і екологічно прийнятний стан. У межах умовного кар'єру, розглянутого в даній розрахунковій частині, основна увага приділяється рекультивації відвалів розкривних порід. У попередньому підрозділі було прийнято бульдозерне відвалоутворення, за якого розкривні породи доставляються автосамоскидами і плануються бульдозерним обладнанням. Такий спосіб створює можливість поступового формування спланованих поверхонь відвалу та підготовки окремих ділянок до подальшої рекультивації. Для забезпечення рекультивації відвалів необхідно передбачити такі заходи:

- поетапне планування поверхні відвального ярусу;
- формування стійких укосів;
- улаштування водовідвідних каналів для відведення поверхневого стоку;
- нанесення родючого шару ґрунту або потенційно родючих порід;
- ущільнення і вирівнювання поверхні;
- посів багаторічних трав;
- висаджування деревно-чагарникової рослинності;
- догляд за рослинністю в перші роки після рекультивації;
- контроль стану укосів, водовідведення і рослинного покриву.

Родючий шар ґрунту, знятий перед початком гірничих робіт або будівництвом відвалів, повинен складуватися окремо від розкривних порід. Його необхідно зберігати у спеціально відведених буртах або складах, не допускаючи змішування з непридатними породами. Надалі цей шар використовується для покриття спланованих поверхонь відвалів або інших ділянок, що підлягають рекультивації. Збереження родючого шару ґрунту є важливою умовою ефективної біологічної рекультивації. При рекультивації відвалів важливо враховувати водний режим території. Поверхня відвалу повинна бути спланована так, щоб не допускати застою води, розмиву укосів і утворення ерозійних промоїн. Для цього передбачаються водовідвідні канали, ухили поверхні, терасування схилів та укріплення найбільш небезпечних ділянок рослинністю або інженерними засобами. Організоване водовідведення зменшує ризик руйнування відвальних укосів і підвищує довговічність рекультивованої території. Біологічне закріплення поверхні відвалів здійснюється шляхом посіву трав і висаджування деревно-чагарникових порід, стійких до місцевих кліматичних умов. На початковому етапі доцільно використовувати невибагливі багаторічні трави, які швидко формують кореневу систему, закріплюють ґрунт і зменшують пиловиділення. У подальшому можуть висаджуватися дерева і кущі, які сприяють формуванню більш стійкого рослинного покриву. Рекультиваційні роботи повинні виконуватися з урахуванням вимог безпеки. Перед початком робіт необхідно перевіряти стійкість укосів, стан поверхні відвалу, наявність небезпечних зон, можливість безпечного руху бульдозерів, автосамоскидів та іншої техніки. Роботи на укосах і поблизу бровок відвалів повинні виконуватися з дотриманням установлених безпечних відстаней і технологічних схем. Основні етапи рекультивації земель, порушених гірничими роботами, наведено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 — Основні етапи рекультивації порушених земель

Етап рекультивації	Основні заходи	Очікуваний результат
Підготовчий етап	Обстеження порушеної території, визначення напрямку рекультивації, оцінка стану відвалів і кар'єрної виїмки	Обґрунтування подальшого використання порушених земель
Технічний етап	Планування поверхні, виположування укосів, улаштування водовідведення, нанесення родючого шару ґрунту	Створення безпечної та придатної для відновлення поверхні
Біологічний етап	Посів трав, висаджування дерев і кущів, внесення добрив, догляд за насадженнями	Формування рослинного покриву і зменшення негативного впливу відвалів
Контрольний етап	Моніторинг стану укосів, водовідведення, рослинності та ерозійних процесів	Підтвердження ефективності рекультиваційних заходів

Таким чином, рекультивація земель, порушених гірничими роботами, є необхідною умовою екологічно відповідального завершення відкритої розробки родовища. Для умовного кар'єру основними об'єктами рекультивації є відвали розкривних порід і території, порушені гірничою інфраструктурою. Рекультивація повинна включати технічний етап, спрямований на планування і стабілізацію поверхні, та біологічний етап, пов'язаний із відновленням рослинного покриву. Виконання таких заходів дає змогу зменшити негативний вплив відкритих гірничих робіт на довкілля, підвищити стійкість порушених територій і створити умови для їх подальшого використання.

3. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

3.1. Основні екологічні проблеми при відкритій розробці родовища корисної копалини

Відкрита розробка родовищ корисних копалин належить до видів промислової діяльності, які мають значний вплив на навколишнє природне середовище. Це пов'язано з вилученням великих обсягів гірських порід, формуванням кар'єрної виїмки, утворенням відвалів розкривних порід, будівництвом транспортних комунікацій, виконанням буровибухових робіт, експлуатацією гірничого і транспортного обладнання, а також зміною природного рельєфу та водного режиму території. Для залізрудних кар'єрів екологічні проблеми мають комплексний характер, оскільки вплив гірничих робіт поширюється на атмосферне повітря, земельні ресурси, поверхневі та підземні води, ґрунтовий покрив, рослинність, акустичне середовище та загальний ландшафт району. Масштаб такого впливу залежить від глибини кар'єру, обсягів видобутку, кількості розкривних порід, прийнятої транспортної схеми, способу підготовки порід до виймання, режиму роботи підприємства та ефективності природоохоронних заходів. Однією з основних екологічних проблем при відкритій розробці родовищ є порушення земельних ресурсів. У процесі експлуатації кар'єру з господарського використання вилучаються значні площі, які зайняті кар'єрною виїмкою, зовнішніми та внутрішніми відвалами, автомобільними дорогами, залізничними коліями, промисловими майданчиками, складами, водовідвідними спорудами та іншими об'єктами гірничої інфраструктури. При цьому природний рельєф території істотно змінюється, а ґрунтовий покрив частково або повністю руйнується. Порушення земель особливо проявляється під час формування зовнішніх відвалів розкривних порід. Такі відвали займають значні площі, змінюють морфологію місцевості, можуть створювати перешкоди для природного поверхневого стоку, бути джерелом пиловиділення та підвищувати ризик розвитку ерозійних процесів. За недостатньо правильної організації відвалоутворення

можливе порушення стійкості укосів, осипання порід, утворення промоїн і локальних зсувів. Важливою екологічною проблемою є вплив відкритих гірничих робіт на атмосферне повітря. Основними джерелами забруднення повітря у кар'єрі є буріння свердловин, масові вибухи, навантаження і розвантаження гірничої маси, рух автосамоскидів по кар'єрних дорогах, робота двигунів внутрішнього згоряння, дроблення порід, вітрове пиління з поверхні відвалів, складів і відкритих робочих майданчиків. Найбільш характерними забруднювальними факторами є пил, продукти згоряння палива, гази, що утворюються після вибухових робіт, а також дрібнодисперсні частинки, які можуть поширюватися за межі виробничої зони.

Пиловиділення є одним із найбільш поширених екологічних чинників при відкритій розробці залізорудних родовищ. Воно виникає під час буріння міцних скельних порід, вибухового руйнування масиву, екскавації підірваної гірничої маси, руху автомобільного транспорту, перевантаження руди та розкривних порід. Інтенсивність пиловиділення залежить від вологості порід, гранулометричного складу гірничої маси, швидкості руху транспорту, стану дорожнього покриття, погодних умов і наявності заходів пилопригнічення. Буровибухові роботи також мають помітний вплив на довкілля. Під час вибуху відбувається короткочасне утворення пилогазової хмари, сейсмічні коливання, повітряна ударна хвиля та розліт окремих уламків породи в межах небезпечної зони. За неправильно обраних параметрів вибуху можливе надмірне порушення масиву, збільшення кількості негабариту, підвищене пиловиділення та негативний вплив на стійкість уступів і бортів кар'єру. Тому буровибухові роботи повинні виконуватися за затвердженими паспортами та з дотриманням вимог промислової безпеки й охорони навколишнього середовища. Суттєвим екологічним аспектом є вплив відкритих гірничих робіт на водні ресурси. Під час розробки родовища змінюється природний режим поверхневого і підземного стоку, формується система кар'єрного водовідливу, можливе осушення окремих водоносних горизонтів, накопичення атмосферних і підземних вод у понижених частинах кар'єру. Кар'єрні води можуть містити завислі речовини, мінеральні домішки, залишки нафтопродуктів, продукти

руйнування гірських порід та інші забруднювальні компоненти. Особливе значення має організація водовідведення з території кар'єру, відвалів і промислових майданчиків. За відсутності належної системи водовідливу можливе підтоплення робочих горизонтів, розмив кар'єрних доріг, зниження стійкості уступів, утворення ерозійних промоїн на відвалах і забруднення поверхневих водотоків. Тому вода, що відкачується з кар'єру або відводиться з території гірничого підприємства, повинна проходити відповідний контроль і, за необхідності, очищення перед скиданням або повторним використанням. Відкрита розробка родовищ також впливає на ґрунтовий покрив і рослинність. Перед початком гірничих робіт родючий шар ґрунту знімається з ділянок, що підлягають порушенню, і повинен складуватися окремо для подальшого використання під час рекультивації. Якщо родючий шар не зберігається належним чином або змішується з розкритими породами, його агрономічні властивості погіршуються, що ускладнює подальше відновлення земель. Шумове навантаження є ще одним негативним фактором, характерним для відкритих гірничих робіт. Джерелами шуму є бурові верстати, екскаватори, автосамоскиди, бульдозери, дробильне обладнання, вибухові роботи та допоміжна техніка. Тривалий вплив шуму негативно позначається на умовах праці персоналу, а в разі близького розташування населених пунктів може впливати і на населення прилеглих територій. Крім шуму, робота гірничого обладнання і вибухові роботи супроводжуються вібраційним впливом, який повинен контролюватися відповідно до встановлених вимог. Окрему групу екологічних проблем становлять відходи гірничого виробництва. До них належать розкриті породи, некондиційні різновиди руди, відходи збагачення, шлами, зношені деталі обладнання, відпрацьовані мастильні матеріали, фільтри, ганчір'я та інші виробничі відходи. Найбільші обсяги утворюють саме розкриті породи, які складуються у відвалах. Раціональне поводження з такими відходами передбачає безпечне складування, запобігання пилінню, контроль стійкості відвалів і, за можливості, використання частини порід для будівництва доріг, планування територій або рекультивації. Екологічні проблеми відкритої розробки родовищ посилюються зі збільшенням глибини кар'єру та тривалості його експлуатації. Поглиблення кар'єру призводить

до збільшення довжини транспортних маршрутів, зростання витрат палива, підвищення інтенсивності руху техніки, збільшення обсягів водовідливу та ускладнення провітрювання кар'єрного простору. У глибоких кар'єрах може погіршуватися природний повітрообмін, що сприяє накопиченню пилу і газів у нижніх горизонтах, особливо за несприятливих погодних умов. Для кар'єру № 3 екологічні проблеми є типовими для великих залізрудних кар'єрів, що розробляються відкритим способом. Основними напрямками екологічного впливу є порушення земель, утворення відвалів, пиловиділення під час бурових, вибухових, навантажувальних і транспортних робіт, вплив на водний режим території, шумове навантаження, утворення виробничих відходів і необхідність подальшої рекультивації порушених земель. У зв'язку з цим оптимізація видобувних робіт повинна враховувати не лише технологічні та економічні показники, а й екологічні наслідки прийнятих рішень. Зменшення негативного впливу відкритих гірничих робіт на довкілля потребує комплексного підходу. Він повинен включати раціональне планування розвитку кар'єру, зменшення зайвих переміщень гірничої маси, підтримання належного стану кар'єрних доріг, застосування пилопригнічення, організацію водовідведення, очищення кар'єрних вод, контроль стійкості відвалів, збереження родючого шару ґрунту, поетапну рекультивацію порушених земель і постійний екологічний моніторинг. Отже, основними екологічними проблемами при відкритій розробці родовища корисної копалини є порушення земельних ресурсів, утворення відвалів, забруднення атмосферного повітря пилом і газами, вплив на поверхневі та підземні води, шумове і вібраційне навантаження, утворення виробничих відходів і необхідність рекультивації порушених територій. Для забезпечення екологічно прийнятної роботи кар'єру ці проблеми повинні враховуватися на всіх етапах гірничого виробництва — від планування розкриття родовища до завершального етапу рекультивації земель.

3.2. Технологічні заходи з охорони навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища при відкритій розробці родовищ корисних копалин є важливою складовою організації гірничого виробництва. Вона

передбачає комплекс технологічних, організаційних, інженерних і природоохоронних заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу гірничих робіт на атмосферне повітря, водні ресурси, земельні угіддя, ґрунтовий покрив, рослинність і загальний стан довкілля. Технологічні заходи з охорони навколишнього середовища повинні передбачатися на всіх етапах відкритої розробки родовища: під час підготовки території, розкриття родовища, виконання буровибухових робіт, виймання і навантаження гірничої маси, транспортування, відвалоутворення, водовідведення, експлуатації промислових майданчиків і рекультивації порушених земель. Ефективність природоохоронної діяльності значною мірою залежить від системності таких заходів і їх узгодження з технологією гірничих робіт. Одним із головних напрямів охорони довкілля є зниження пилового забруднення атмосферного повітря. Пил утворюється під час буріння свердловин, вибухового руйнування масиву, екскавації, навантаження, розвантаження, руху автосамоскидів по кар'єрних дорогах, а також внаслідок вітрового пиління з поверхонь відвалів і складів. Для зменшення пиловиділення необхідно застосовувати комплекс заходів пилопригнічення. Під час буріння вибухових свердловин доцільно застосовувати бурові верстати, обладнані системами пиловловлювання або пилопригнічення. Це дозволяє зменшити викиди пилу безпосередньо в зоні роботи бурового обладнання та поліпшити умови праці машиністів бурових верстатів. Крім того, необхідно підтримувати справний стан герметизуючих пристроїв, фільтрів і аспіраційних систем. Під час виконання буровибухових робіт важливе значення має правильний вибір параметрів вибуху. Рациональна сітка свердловин, оптимальна питома витрата вибухової речовини, застосування якісної забивки та сучасних систем ініціювання дозволяють зменшити утворення надмірної пилогазової хмари, обмежити розліт кусків породи та забезпечити рівномірне дроблення гірничої маси. Якісне дроблення також знижує потребу у вторинному подрібненні, яке є додатковим джерелом пилу, шуму і небезпеки. Для зменшення пиловиділення на автомобільних дорогах необхідно регулярно виконувати зрошення дорожнього покриття водою або спеціальними пилосв'язувальними розчинами. Особливо це важливо в сухий літній період, коли

інтенсивність пиління значно зростає. Стан кар'єрних доріг повинен постійно контролюватися: необхідно своєчасно виконувати планування, ущільнення, ремонт покриття, ліквідацію вибоїн і нерівностей. Рівне дорожнє покриття зменшує пиловиділення, витрати палива, зношування шин і підвищує безпеку руху. На пунктах навантаження і розвантаження гірничої маси доцільно застосовувати локальне зрошення, укриття пилонебезпечних зон, обмеження висоти падіння матеріалу та раціональну організацію переміщення техніки. Під час складування порід і формування відвалів необхідно передбачати планування поверхонь, зменшення відкритих пилонебезпечних площ, зволоження робочих ділянок і поетапне закріплення відвальних поверхонь рослинністю. Важливим напрямом охорони довкілля є зменшення викидів від роботи автомобільного транспорту. Кар'єрні автосамоскиди споживають значні обсяги дизельного палива, тому їх експлуатація супроводжується викидами оксидів азоту, оксидів вуглецю, вуглеводнів, сажі та інших продуктів згоряння. Для зниження такого впливу необхідно забезпечувати справний технічний стан двигунів, своєчасне технічне обслуговування, контроль витрат палива, оптимізацію маршрутів руху та недопущення зайвих простоїв із працюючими двигунами. Оптимізація транспортної схеми також має природоохоронне значення. Скорочення нераціональних перевезень, зменшення довжини транспортних маршрутів, раціональне розміщення перевантажувальних пунктів і відвалів дають змогу знизити витрати палива, зменшити пиловиділення, шумове навантаження та викиди забруднювальних речовин. Тому технологічна оптимізація видобувних робіт одночасно є одним із заходів охорони навколишнього середовища. Окрему увагу слід приділяти охороні водних ресурсів. Під час відкритої розробки родовища у кар'єрі накопичуються атмосферні, поверхневі та підземні води, які можуть забруднюватися завислими речовинами, мінеральними домішками, нафтопродуктами та іншими забруднювальними компонентами. Для зменшення негативного впливу на водне середовище необхідно організувати систему збору, відведення, очищення та контролю кар'єрних вод. Кар'єрний водовідлив повинен забезпечувати своєчасне видалення води з робочих горизонтів і запобігати

підтопленню робочих майданчиків, транспортних комунікацій та нижніх уступів. Для цього використовуються водозбірники, насосні станції, водовідвідні канали, дренажні споруди та системи відведення поверхневого стоку. Водовідвідні споруди повинні регулярно очищуватися від наносів і підтримуватися у справному стані. Перед скиданням кар'єрних вод у природні водні об'єкти або системи водовідведення необхідно забезпечувати їх контроль і, за потреби, очищення. Основними заходами очищення є відстоювання завислих речовин у відстійниках, уловлювання нафтопродуктів, контроль мінералізації та недопущення аварійного потрапляння забруднених вод у навколишнє середовище. За можливості доцільно організовувати повторне використання очищених кар'єрних вод для зрошення доріг, пилопригнічення та технічних потреб підприємства. Для запобігання забрудненню вод нафтопродуктами необхідно обладнувати спеціальні місця для заправлення, технічного обслуговування та ремонту машин. Такі майданчики повинні мати тверде покриття, систему збору забруднених стоків, засоби локалізації випадкових розливів і матеріали для їх оперативного збирання. Забороняється виконувати заправлення і ремонт техніки у місцях, де можливе пряме потрапляння палива або мастил у ґрунт чи водовідвідні канали. Важливим напрямом природоохоронної діяльності є раціональне використання земельних ресурсів. Під час відкритої розробки родовища необхідно мінімізувати площі порушення, раціонально розміщувати відвали, дороги, промислові майданчики і допоміжні об'єкти. Перед початком гірничих робіт родючий шар ґрунту повинен зніматися, складуватися окремо та зберігатися для подальшого використання під час рекультивації. Формування відвалів розкривних порід повинно здійснюватися з урахуванням вимог стійкості, водовідведення і подальшої рекультивації. Необхідно забезпечувати дотримання проєктних параметрів відвальних ярусів, стійких кутів укосів, безпечних берм і організованого поверхневого стоку. Поверхні відвалів, які більше не використовуються у виробничому процесі, доцільно поступово планувати та готувати до технічної і біологічної рекультивації. Рекультивація порушених земель є завершальним і водночас одним із найважливіших заходів охорони навколишнього середовища. Вона передбачає

технічне планування поверхні, виположування укосів, нанесення родючого шару ґрунту, створення системи водовідведення, посів трав, висаджування дерев і кущів та подальший догляд за рослинністю. Поетапна рекультивація дозволяє зменшити площу відкритих порушених земель, знизити пиловиділення і прискорити відновлення екологічних функцій території. Для зменшення шумового впливу необхідно забезпечувати справний стан гірничого обладнання, своєчасне технічне обслуговування машин, використання шумозахисних елементів, раціональне розміщення джерел шуму та дотримання встановлених режимів роботи. Особливо це важливо для бурових верстатів, екскаваторів, автосамоскидів, дробильного обладнання і бульдозерів, які є основними джерелами виробничого шуму. Зниження вібраційного і сейсмічного впливу забезпечується правильним проєктуванням буровибухових робіт. Для цього необхідно застосовувати оптимальну масу зарядів, раціональну схему короткосповільненого підривання, контроль параметрів вибуху і дотримання безпечних відстаней. Такі заходи дозволяють зменшити негативний вплив вибухових робіт на борти кар'єру, споруди підприємства та прилеглі території. У системі охорони навколишнього середовища важливе місце займає екологічний моніторинг. Він передбачає регулярний контроль стану атмосферного повітря, рівня пилу, якості кар'єрних і поверхневих вод, стану ґрунтів, стійкості відвалів, шумового навантаження та ефективності природоохоронних заходів. Результати моніторингу дають змогу своєчасно виявляти негативні зміни та коригувати технологічні рішення. Основні технологічні заходи з охорони навколишнього середовища при відкритій розробці родовища наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Основні технологічні заходи з охорони навколишнього середовища

Напрямок впливу	Джерела впливу	Основні заходи зменшення впливу
Атмосферне повітря	Буріння, вибухи, навантаження, транспорт, відвали	Пилопригнічення, зрошення доріг, пиловловлювання при бурінні,

		оптимізація вибухів, технічне обслуговування двигунів
Водні ресурси	Кар'єрні води, поверхневий стік, промислові майданчики	Водовідведення, відстійники, очищення вод, контроль якості, повторне використання технічної води
Земельні ресурси	Кар'єрна виїмка, відвали, дороги, проммайданчики	Мінімізація площ порушення, зняття і збереження родючого шару, планування відвалів, рекультивація
Ґрунтовий покрив	Зняття ґрунту, складування порід, забруднення нафтопродуктами	Окреме складування родючого шару, запобігання розливам палива, очищення забруднених ділянок
Шум і вібрація	Бурові верстати, вибухові роботи, транспорт, дроблення	Технічне обслуговування обладнання, оптимізація режимів роботи, контроль вибухів, дотримання безпечних відстаней
Відвали	Складування розкритих порід, пиління, ерозія	Формування стійких укосів, водовідведення, планування поверхні, озеленення, поетапна рекультивація

Таким чином, технологічні заходи з охорони навколишнього середовища при відкритій розробці родовища мають бути комплексними та охоплювати всі основні джерела впливу гірничого виробництва. Найважливішими напрямками є пилопригнічення, раціональна організація транспортування, очищення і повторне використання кар'єрних вод, безпечне формування відвалів, збереження родючого шару ґрунту, рекультивація порушених земель, зменшення шумового та вібраційного впливу, а також постійний екологічний моніторинг. Реалізація таких заходів дозволяє знизити негативний вплив кар'єру на довкілля та забезпечити більш екологічно відповідальну організацію відкритих гірничих робіт.

3.3. Система протипаварійного захисту і безпека праці на кар'єрі

Безпека праці на кар'єрі є однією з основних умов ефективного ведення відкритих гірничих робіт. Кар'єрне виробництво характеризується використанням великогабаритної техніки, виконанням бурових і вибухових робіт, переміщенням значних обсягів гірничої маси, роботою на уступах і транспортних комунікаціях, а

також постійною зміною гірничо-технічних умов. У зв'язку з цим система протиаварійного захисту повинна забезпечувати попередження небезпечних ситуацій, своєчасне виявлення аварійних ознак, оперативне реагування персоналу та мінімізацію можливих наслідків аварій. Система протиаварійного захисту на кар'єрі являє собою сукупність організаційних, технічних, технологічних і профілактичних заходів, спрямованих на запобігання аваріям, виробничому травматизму, пожежам, обвалам, зсувам, транспортним пригодам, аваріям обладнання та іншим небезпечним подіям. Така система повинна діяти на всіх етапах гірничого виробництва: під час розкриття родовища, буріння, підривання, екскавації, транспортування, відвалоутворення, водовідведення, ремонту обладнання та виконання допоміжних робіт. Основними потенційними аварійними ситуаціями при відкритій розробці родовища є:

- обвали і зсуви уступів, бортів кар'єру та відвалів;
- падіння шматків породи з укосів уступів;
- аварії та зіткнення кар'єрного транспорту;
- перекидання автосамоскидів на дорогах, з'їздах або відвалах;
- аварійні ситуації під час бурових і вибухових робіт;
- займання або пожежі на гірничому обладнанні;
- ураження працівників електричним струмом;
- підтоплення робочих горизонтів;
- відмова насосного, транспортного або виймально-навантажувального обладнання;
- потрапляння працівників у небезпечні зони роботи машин;

– порушення провітрювання нижніх горизонтів і накопичення пилу або шкідливих газів.

Одним із найважливіших напрямів протиаварійного захисту є забезпечення стійкості бортів, уступів і відвалів. Для цього необхідно дотримуватися проєктних параметрів кар'єру, не допускати перевищення встановлених кутів укосів, своєчасно очищати берми від осипів, контролювати стан тріщин, деформацій і зон можливого обрушення. Особливу увагу слід приділяти ділянкам, ускладненим тектонічними порушеннями, підвищеною тріщинуватістю, обводненням або впливом вибухових робіт. Контроль стійкості бортів кар'єру повинен здійснюватися систематично. Візуальні огляди укосів і робочих майданчиків мають проводитися перед початком зміни, після масових вибухів, після сильних опадів, під час танення снігу, а також при появі ознак деформації. До таких ознак належать утворення тріщин, осідання поверхні, зміщення окремих блоків породи, посилене осипання, поява води на укосах або зміна стану відвальних масивів. У разі виявлення небезпечних ознак роботи в небезпечній зоні повинні бути припинені до усунення загрози. Важливим елементом безпеки є правильна організація буровибухових робіт. Буріння свердловин повинно виконуватися відповідно до паспорта буріння з дотриманням відстаней до бровок уступів, установленної сітки свердловин і безпечних умов роботи бурового верстата. Перед початком буріння необхідно перевірити стан робочого майданчика, стійкість уступу, справність бурового обладнання, засобів зв'язку та огороження небезпечної зони. Вибухові роботи повинні виконуватися лише спеціально підготовленим персоналом за затвердженим паспортом буровибухових робіт. Перед проведенням вибуху необхідно встановлювати межі небезпечної зони, виводити з неї людей і техніку, виставляти пости охорони, подавати встановлені сигнали, перевіряти готовність вибухової мережі та забезпечувати контроль за дотриманням вимог безпеки. Після вибуху огляд вибою дозволяється проводити тільки після встановленого часу провітрювання і дозволу відповідальної особи. Особливе значення у системі безпеки має організація руху кар'єрного транспорту. Автомобільні дороги, з'їзди,

повороти, майданчики розвантаження і під'їзди до екскаваторів повинні відповідати габаритам і технічним можливостям автосамоскидів. Дорожнє полотно повинно підтримуватися у справному стані, мати необхідну ширину, водовідведення, орієнтувальні вали, дорожні знаки та освітлення в темний час доби. Особливо небезпечними є ділянки з великими ухилами, поворотами малого радіуса, слизьким покриттям, обмеженою видимістю та інтенсивним рухом техніки. Для запобігання транспортним аваріям необхідно дотримуватися встановленої швидкості руху, безпечної дистанції між транспортними засобами, правил переваги руху, порядку під'їзду до екскаватора і місця розвантаження. Забороняється рух автосамоскидів з несправними гальмами, рульовим керуванням, освітленням, сигналізацією або іншими системами, що впливають на безпеку. Машиністи й водії повинні мати відповідну підготовку та проходити інструктажі з безпеки праці. Безпека виймально-навантажувальних робіт забезпечується правильним розміщенням екскаватора у вибої, дотриманням паспорта робіт, своєчасною подачею транспорту і недопущенням перебування людей у небезпечній зоні. Екскаватор повинен розташовуватися на рівному та стійкому майданчику, за межами призми можливого обрушення. Під час навантаження автосамоскид повинен встановлюватися у визначене положення, а його водій має виконувати вимоги машиніста екскаватора та правила безпечного перебування у зоні навантаження. Протиаварійний захист також передбачає контроль технічного стану гірничого обладнання. Бурові верстати, екскаватори, автосамоскиди, бульдозери, насосне обладнання, електроустановки та допоміжна техніка повинні проходити планове технічне обслуговування, огляди та ремонти. Виявлені несправності мають усуватися до початку роботи або негайно після їх виявлення. Експлуатація несправного обладнання, що створює загрозу для працівників або виробничого процесу, не допускається. Важливим елементом протиаварійної системи є організація водовідливу. Накопичення води у кар'єрі може призвести до підтоплення робочих горизонтів, розмиву доріг, зниження стійкості уступів, погіршення умов руху транспорту та аварійних зупинок обладнання. Для запобігання таким ситуаціям необхідно забезпечувати справну роботу насосних

станцій, водозбірників, водовідвідних каналів і дренажних споруд. Після інтенсивних опадів або різкого збільшення водоприпливу повинні проводитися додаткові огляди небезпечних ділянок. Система протиаварійного захисту повинна включати чіткий порядок дій персоналу у разі виникнення аварійної ситуації. На підприємстві мають бути розроблені плани ліквідації аварій, інструкції з евакуації працівників, схеми оповіщення, порядок виклику аварійно-рятувальних служб, місця збору персоналу та відповідальні особи за організацію дій у надзвичайних умовах. Працівники повинні бути ознайомлені з цими документами і проходити періодичні навчання та тренування. У разі виникнення аварійної ситуації першочерговими діями є припинення робіт у небезпечній зоні, виведення людей і техніки на безпечну відстань, повідомлення керівника робіт і диспетчера, огороження небезпечної ділянки та організація ліквідації наслідків. Роботи можуть бути відновлені лише після встановлення причин аварійної ситуації, усунення небезпеки та отримання дозволу відповідальної особи. Значну роль у забезпеченні безпеки відіграє виробничий контроль. Він включає перевірку стану робочих місць, дотримання технологічних паспортів, стану машин і механізмів, використання засобів індивідуального захисту, виконання працівниками інструкцій з охорони праці та дотримання правил безпечного ведення гірничих робіт. Регулярний контроль дозволяє виявляти порушення до того, як вони призведуть до аварії або травмування. Працівники кар'єру повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт. До таких засобів належать захисні каски, спецодяг, спецвзуття, світловідбивальні жилети, захисні окуляри, рукавиці, респіратори, протишумові навушники, запобіжні пояси та інші засоби. Використання засобів індивідуального захисту є обов'язковим у небезпечних виробничих зонах. До організаційних заходів безпеки належать проведення вступного, первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів, навчання працівників безпечним методам роботи, перевірка знань з охорони праці, допуск до робіт підвищеної небезпеки лише підготовленого персоналу, ведення журналів інструктажів, контроль трудової дисципліни та виконання вимог технологічних регламентів.

Основні елементи системи протиаварійного захисту та безпеки праці на кар'єрі наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Основні елементи системи протиаварійного захисту на кар'єрі

Напрямок протиаварійного захисту	Потенційна небезпека	Основні заходи запобігання
Стійкість бортів і уступів	Обвали, осипи, зсуви, падіння породи	Контроль укосів, дотримання проєктних кутів, очищення берм, огороження небезпечних зон
Буровибухові роботи	Розліт породи, пилогазова хмара, сейсмічний вплив	Виконання робіт за паспортом, евакуація людей, сигнальна система, охорона небезпечної зони
Кар'єрний транспорт	Зіткнення, перекидання, наїзди, відмова гальм	Дотримання швидкості, справність техніки, дорожні знаки, освітлення, орієнтувальні вали
Екскаваторні роботи	Перебування людей у небезпечній зоні, обвал вибою, простої транспорту	Паспорт вибою, безпечне розміщення екскаватора, організація подачі автосамоскидів
Водовідлив	Підтоплення горизонтів, розмив доріг, зниження стійкості уступів	Насосні станції, водозбірники, водовідвідні канали, контроль водоприпливів
Технічний стан обладнання	Поломки, пожежі, аварійні зупинки, травмування	Планові огляди, технічне обслуговування, ремонт, заборона роботи несправної техніки
Організація праці	Порушення інструкцій, неправильні дії персоналу	Інструктажі, навчання, виробничий контроль, допуск до робіт підвищеної небезпеки

Додатково система протиаварійного захисту при виконанні виймально-навантажувальних робіт повинна враховувати вимоги паспорта екскаваторного вибою. За матеріалами паспорта екскаваторних вибоїв Петрівського кар'єру особлива увага приділяється безпечному розміщенню екскаватора, автотранспорту

та допоміжного обладнання в межах робочої площадки. Під час роботи екскаватора у скельному вибої необхідно забезпечувати постійний контроль стану уступу, наявності нависань, тріщин, заколів, осипів і можливих зон обвалення. У разі появи ознак нестійкості уступу, загрози обвалу або виявлення небезпечного стану вибою роботи повинні бути негайно припинені, а екскаватор та транспортні засоби виведені у безпечну зону. Важливим елементом протиаварійного захисту є заборона роботи екскаватора під навислими козирками породи, біля нестійких укосів або в зоні можливого обрушення. Робочий майданчик повинен бути вирівняним, достатнім за шириною для безпечного розміщення екскаватора і під'їзду автосамоскидів, а техніка має розташовуватися за межами призми можливого обрушення. У разі виявлення відмов вибухових матеріалів, підозрілих предметів після вибуху або недостатньо розібраного вибою роботи в небезпечній зоні мають бути припинені до огляду відповідальними особами та прийняття рішення щодо подальших дій. Такий порядок дозволяє запобігти аварійним ситуаціям, пов'язаним із повторним вибухом, раптовим обваленням породи або пошкодженням гірничого обладнання. Отже, паспорт екскаваторного вибою є не лише технологічним, а й протиаварійним документом, оскільки визначає безпечну організацію роботи екскаватора, порядок розміщення транспортних засобів, допустимі умови роботи у вибої та дії персоналу у разі виникнення небезпечної ситуації. Основні вимоги техніки безпеки під час роботи екскаватора у скельному вибої наведено у фрагментах паспорта екскаваторного вибою, поданих у додатку Б. Таким чином, система протиаварійного захисту і безпека праці на кар'єрі повинні базуватися на комплексному підході, який включає контроль стійкості бортів і уступів, безпечну організацію буровибухових, виймально-навантажувальних і транспортних робіт, підтримання справного технічного стану обладнання, ефективну систему водовідливу, навчання персоналу та чіткий порядок дій у разі аварійної ситуації. Реалізація цих заходів дозволяє зменшити ризик аварій, забезпечити безпечні умови праці та підвищити надійність роботи кар'єру.

3.4. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на відкритих гірничих роботах

Відкриті гірничі роботи належать до виробничих процесів підвищеної небезпеки, оскільки виконуються в умовах постійної взаємодії працівників із великогабаритною технікою, вибуховими матеріалами, нестійкими гірськими масивами, транспортними комунікаціями, електрообладнанням, пилом, шумом, вібрацією та несприятливими кліматичними факторами. У зв'язку з цим аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів є необхідною умовою для обґрунтування заходів з охорони праці та безпечної організації гірничого виробництва. Небезпечними виробничими факторами є такі фактори, дія яких може призвести до травмування працівника, аварії, пошкодження обладнання або виникнення надзвичайної ситуації. Шкідливими виробничими факторами є фактори, які при тривалому або систематичному впливі можуть спричинити погіршення стану здоров'я працівників, професійні захворювання, зниження працездатності або погіршення умов праці. На відкритих гірничих роботах ці фактори часто діють одночасно, що потребує комплексного підходу до їх виявлення, оцінювання та зниження. Основними джерелами небезпечних і шкідливих факторів у кар'єрі є бурові верстати, вибухові роботи, екскаватори, автосамоскиди, бульдозери, відвальні роботи, електроустановки, кар'єрні дороги, уступи, борти кар'єру, відвали, водовідливні установки та допоміжні виробничі процеси. Особливість відкритих гірничих робіт полягає в тому, що робочі місця розташовані безпосередньо у кар'єрному просторі, де умови праці постійно змінюються залежно від розвитку гірничих робіт, погодних умов, стану масиву порід і режиму роботи обладнання. Одним із найважливіших небезпечних факторів є можливість обвалів, осипів і зсувів гірських порід. Такі явища можуть виникати на уступах, бортах кар'єру, транспортних бермах і відвалах унаслідок порушення стійкості масиву, надмірного зволоження порід, тектонічної тріщинуватості, неправильного ведення буровибухових робіт або недотримання проєктних параметрів укосів. Падіння шматків породи з уступів становить безпосередню

загрозу для працівників, гірничого обладнання і транспортних засобів. Значну небезпеку становить робота великогабаритного кар'єрного транспорту. Автосамоскиди мають значні габарити, велику масу, обмежену маневреність і значні сліпі зони огляду. Небезпека виникає під час руху по кар'єрних дорогах, підйомах і спусках, на поворотах, при роз'їзді з іншою технікою, під час під'їзду до екскаватора, розвантаження на відвалі або руху в умовах недостатньої видимості. Основними ризиками є зіткнення транспортних засобів, наїзд на працівників, перекидання автосамоскида, з'їзд з дороги, відмова гальмівної системи або втрата керування. Небезпечними є також виймально-навантажувальні роботи. Під час роботи екскаватора можливе травмування працівників у зоні дії ковша, стріли або поворотної платформи, обвал вибою, падіння кусків породи, зіткнення екскаватора з транспортом, пошкодження кабельних ліній або порушення стійкості робочого майданчика. Особливу небезпеку створює перебування людей у зоні навантаження, а також неправильна постановка автосамоскида під навантаження. Бурові роботи супроводжуються дією як небезпечних, так і шкідливих факторів. До небезпечних належать обертання бурового інструменту, переміщення бурового верстата, можливість перекидання машини при роботі поблизу бровки уступу, пошкодження кабелів, падіння предметів і порушення стійкості робочого майданчика. До шкідливих факторів належать пил, шум, вібрація, важкі метеорологічні умови, фізичне навантаження і психофізіологічне напруження оператора. Вибухові роботи є одним із найбільш небезпечних процесів у кар'єрі. Основними небезпечними факторами при їх виконанні є дія вибухової хвилі, розліт шматків породи, сейсмічні коливання, утворення пилогазової хмари, можливість передчасного або неповного спрацювання зарядів, наявність відмов, порушення правил поводження з вибуховими матеріалами та неправильна організація небезпечної зони. Після вибуху небезпеку становлять отруйні гази, нестійкі ділянки вибою, негабаритні куски породи та можливі невибухлі заряди. До шкідливих факторів, які мають значний вплив на працівників кар'єру, належить запиленість повітря. Пил утворюється під час буріння, вибухових робіт, екскавації, навантаження,

розвантаження, руху автосамоскидів по дорогах, дроблення порід і вітрового пиління з поверхонь відвалів. Тривала дія пилу може призводити до захворювань органів дихання, подразнення слизових оболонок, зниження працездатності та погіршення загальних умов праці. Особливо небезпечним є дрібнодисперсний пил, який може проникати у нижні відділи дихальних шляхів. Шум є постійним шкідливим фактором на відкритих гірничих роботах. Його джерелами є бурові верстати, екскаватори, автосамоскиди, бульдозери, компресори, дробильне обладнання, вибухові роботи та допоміжні механізми. Тривалий вплив підвищеного рівня шуму може спричинити зниження слуху, нервові напруження, втому, погіршення концентрації уваги та підвищення ризику виробничого травматизму. Тому працівники, які перебувають у зонах підвищеного шуму, повинні використовувати засоби захисту органів слуху. Вібрація також належить до важливих шкідливих факторів. Вона виникає під час роботи бурових верстатів, автосамоскидів, бульдозерів, екскаваторів і допоміжної техніки. Вібраційний вплив може бути загальним, коли передається на все тіло працівника через сидіння або робочу площадку, і локальним, коли діє через ручні інструменти або органи керування. Тривала дія вібрації може спричиняти порушення опорно-рухового апарату, нервової системи, кровообігу та загальне погіршення самопочуття. Шкідливим фактором є також загазованість повітря кар'єру. Джерелами шкідливих газів є двигуни внутрішнього згоряння автосамоскидів і допоміжної техніки, вибухові роботи, робота дизельного обладнання та можливе накопичення газів у понижених частинах кар'єру за несприятливих метеорологічних умов. До основних шкідливих компонентів належать оксиди азоту, оксид вуглецю, діоксид сірки, вуглеводні та продукти неповного згоряння палива. Накопичення таких речовин може погіршувати умови праці та створювати загрозу для здоров'я персоналу. Кліматичні та метеорологічні умови є важливими факторами, що впливають на безпеку праці у кар'єрі. Працівники можуть зазнавати впливу високих або низьких температур, сильного вітру, опадів, ожеледиці, туману, снігопаду, сонячної радіації та різких змін погоди. У літній період можливе перегрівання працівників і підвищення пиловиділення, а в зимовий — переохолодження, слизькість доріг,

погіршення видимості та ускладнення роботи техніки. Несприятливі погодні умови також підвищують ризик транспортних аварій і травмування. Електричний струм є небезпечним фактором при експлуатації електрифікованого гірничого обладнання, переносних ліній електропередач, освітлювальних установок, насосних станцій, електродвигунів, кабелів і розподільних пристроїв. Небезпека ураження електричним струмом виникає при пошкодженні ізоляції, порушенні правил експлуатації електрообладнання, наближенні техніки до повітряних ліній, виконанні ремонтних робіт без зняття напруги або заземлення, а також при використанні несправних електроінструментів. Пожежонебезпечні фактори пов'язані з використанням дизельного палива, мастильних матеріалів, електрообладнання, вибухових матеріалів, зварювальних робіт і нагріванням окремих вузлів машин. Пожежі можуть виникати на автосамоскидах, екскаваторах, бурових верстатах, у ремонтних зонах, на складах паливно-мастильних матеріалів або в електроустановках. Пожежа в кар'єрі є особливо небезпечною через складність під'їзду пожежної техніки до окремих горизонтів, наявність палива та обмежені можливості евакуації техніки з вузьких ділянок. Психофізіологічні фактори також мають важливе значення. Робота машиністів екскаваторів, водіїв автосамоскидів, буровиків і працівників вибухових дільниць потребує високої уваги, точності дій, постійного контролю за обстановкою та відповідальності за безпеку інших працівників. Тривале перебування у напружених умовах, монотонність окремих операцій, робота в нічні зміни, шум, вібрація та несприятливий мікроклімат можуть призводити до втоми, зниження уваги й підвищення ймовірності помилок. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на відкритих гірничих роботах наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори на відкритих гірничих роботах

Виробничий процес	Небезпечні фактори	Шкідливі фактори	Можливі наслідки
Бурові роботи	Рухомі частини бурового верстата, робота поблизу бровки уступу, падіння предметів, пошкодження кабелів	Пил, шум, вібрація, несприятливі погодні умови	Травмування, захворювання органів дихання, втома, зниження слуху
Вибухові роботи	Вибухова хвиля, розліт породи, відмови зарядів, небезпечна зона	Пилогазова хмара, шум, сейсмічні коливання	Травмування, отруєння газами, пошкодження обладнання, порушення стійкості уступів
Екскаваторні роботи	Зона дії ковша і стріли, обвал вибою, зіткнення з транспортом	Шум, вібрація, пил, напруженість праці	Травмування, простої обладнання, професійні захворювання
Автомобільний транспорт	Зіткнення, перекидання, наїзд, відмова гальм, рух на ухилах	Шум, вібрація, загазованість, пил	ДТП, травмування, перевтома водіїв, забруднення повітря
Відвалоутворення	Зсув відвалу, обвал бровки, перекидання техніки, робота біля укосу	Пил, шум, вібрація, несприятливі погодні умови	Травмування, аварії техніки, порушення стійкості відвалу
Електрообладнання	Ураження електричним струмом, коротке замикання, пошкодження кабелів	Електромагнітні впливи, недостатнє освітлення	Електротравми, пожежі, аварійні зупинки
Водовідлив і насосні установки	Затоплення, падіння у водозбірники	Шум, вологість	Травмування, підтоплення

	робота з електрообладнанням	несприятливий мікроклімат	горизонтів, аварії насосів
Ремонтні роботи	Робота з вантажопідіймальними механізмами, інструментом, гарячими поверхнями	Шум, фізичне навантаження, контакт з мастилами	Травми, опіки, отруєння, професійні захворювання

Зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів досягається шляхом упровадження технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів. До таких заходів належать дотримання технологічних паспортів робіт, підтримання справного стану обладнання, контроль стійкості уступів і відвалів, застосування засобів індивідуального захисту, пилопригнічення, вентиляція кар'єрного простору, освітлення робочих місць, навчання персоналу, інструктажі та постійний виробничий контроль. Особливе значення має попередження перебування працівників у небезпечних зонах. До таких зон належать зона роботи екскаватора, зона руху автосамоскидів, зона буріння, небезпечна зона вибухових робіт, ділянки поблизу бровок уступів, відвали, місця можливого падіння породи, електроустановки та ремонтні майданчики. Доступ до таких зон повинен бути обмежений, а роботи мають виконуватися лише за наявності відповідного дозволу та під контролем відповідальних осіб. Окрему групу небезпечних факторів становлять ризики, пов'язані з роботою екскаватора у скельному вибої. До них належать можливе обвалення уступу, падіння окремих кусків породи, наявність нависань і козирків, недостатня ширина робочого майданчика, неправильне розміщення автосамоскидів під навантаженням, перебування людей у зоні дії ковша, стріли, канатів і поворотної платформи екскаватора. Небезпека екскаваторного вибою посилюється тим, що роботи виконуються з попередньо підірваною скельною гірничою масою, яка може мати нерівномірну кускуватість, нестійкі навали, приховані заколи та окремі негабаритні куски. За таких умов існує ризик раптового зсуву або осипання породи під час черпання, навантаження чи маневрування транспортних засобів. Додатковим небезпечним фактором є взаємодія екскаватора з автомобільним транспортом. Під час подачі автосамоскида

під навантаження можливі ризики наїзду, зіткнення, неправильного встановлення машини, перебування водія або інших працівників у небезпечній зоні, а також пошкодження транспортного засобу ковшем або уламками гірничої маси. Тому рух автосамоскидів у зоні вибою повинен виконуватися лише за встановленою схемою та сигналами машиніста екскаватора. До шкідливих факторів, характерних для екскаваторних робіт у скельному вибої, належать підвищена запиленість повітря, шум, вібрація, дія вихлопних газів автотранспорту, несприятливі мікрокліматичні умови та психофізіологічне навантаження на машиністів і водіїв. Ці фактори можуть впливати на увагу працівників, швидкість реакції та безпеку виконання операцій. З урахуванням наведеного робота екскаватора у скельному вибої є зоною підвищеного виробничого ризику. Основними небезпечними факторами є нестійкість уступу, падіння породи, наявність нависань, рух великогабаритного транспорту, обмеженість робочого простору та можливість неправильних дій персоналу. Для зниження цих ризиків необхідно суворо дотримуватися паспорта екскаваторного вибою, установлених схем руху автотранспорту, безпечних відстаней і порядку подачі сигналів. Таким чином, відкриті гірничі роботи характеризуються комплексом небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть впливати на працівників, обладнання та виробничий процес. Найбільш суттєвими є небезпека обвалів і зсувів, транспортні ризики, небезпека буровибухових робіт, дія пилу, шуму, вібрації, загазованості, електричного струму, пожежонебезпечних факторів і несприятливих кліматичних умов. Систематичний аналіз цих факторів є основою для розроблення технічних та організаційних заходів безпеки, які розглядаються у наступному підрозділі.

3.5. Технічні та організаційні заходи безпеки

Забезпечення безпеки праці на відкритих гірничих роботах потребує впровадження комплексу технічних та організаційних заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, аваріям, професійним захворюванням і небезпечним ситуаціям. Такі заходи повинні охоплювати всі основні технологічні процеси кар'єру: бурові роботи, вибухові роботи, виймально-навантажувальні

роботи, транспортування гірничої маси, відвалоутворення, водовідлив, ремонт обладнання та допоміжні операції. Технічні заходи безпеки передбачають застосування справного обладнання, захисних пристроїв, сигналізації, огорожень, засобів контролю, безпечних технологічних схем і технічних рішень, які зменшують імовірність аварійної ситуації. Організаційні заходи спрямовані на правильну організацію праці, навчання персоналу, інструктажі, контроль виконання правил безпеки, допуск працівників до робіт, розподіл відповідальності та дотримання технологічної дисципліни. Одним із головних напрямів технічної безпеки є підтримання стійкості уступів, бортів кар'єру та відвалів. Для цього необхідно дотримуватися проектних параметрів укосів, висоти уступів, ширини берм і робочих майданчиків. Не допускається підроблення уступів, перевищення допустимих кутів укосу, складування порід у небезпечній близькості до бровки, а також робота техніки на нестійких або зволжених ділянках без попередньої перевірки. Перед початком зміни відповідальні особи повинні здійснювати огляд робочих місць, стану уступів, транспортних берм, відвалів, кар'єрних доріг, водовідвідних каналів та місць розташування обладнання. У разі виявлення тріщин, осипів, зависань породи, зсувів, підтоплення або інших ознак небезпеки роботи в цій зоні мають бути припинені до усунення загрози. Небезпечні ділянки необхідно позначати попереджувальними знаками, огорожувати або виводити з експлуатації. Безпека бурових робіт забезпечується правильним розміщенням бурового верстата на уступі, дотриманням відстані до бровки, справністю ходової частини, бурового інструменту, пиловловлювальних пристроїв, кабелів і засобів керування. Робочий майданчик для буріння повинен бути спланованим, очищеним від негабаритних кусків породи, мати достатню ширину і стійку основу. Переміщення бурового верстата поблизу бровки уступу допускається лише після перевірки стану майданчика. Під час буріння необхідно застосовувати засоби пилопригнічення або пиловловлювання, оскільки буріння міцних скельних порід супроводжується значним пиловиділенням. Машиніст бурового верстата повинен використовувати засоби індивідуального захисту: каску, спецодяг, спецвзуття, захисні окуляри, рукавиці, респіратор і засоби захисту органів слуху.

Забороняється перебування сторонніх осіб у зоні роботи бурового верстата. Вибухові роботи повинні виконуватися лише спеціально підготовленим персоналом відповідно до затвердженого паспорта буровибухових робіт. До початку заряджання свердловин необхідно перевірити їх стан, глибину, обводненість, розташування відповідно до схеми буріння та готовність блока до заряджання. Вибухові матеріали повинні доставлятися, зберігатися і використовуватися з дотриманням встановлених вимог безпеки. Перед проведенням вибуху встановлюється небезпечна зона, з якої виводяться люди, техніка та сторонні особи. На межах небезпечної зони виставляються пости охорони, подаються попереджувальні звукові сигнали, перевіряється відсутність людей у небезпечній зоні та готовність вибухової мережі. Після вибуху огляд місця робіт дозволяється тільки після розсіювання пилогазової хмари, провітрювання вибою і дозволу відповідальної особи. У разі виявлення відмов або підозри на них роботи виконуються за спеціальним порядком. Безпека виймально-навантажувальних робіт забезпечується дотриманням паспорта роботи екскаватора у вибої. Екскаватор повинен розташовуватися на стійкому, вирівняному майданчику за межами призми можливого обрушення. Забороняється робота екскаватора під навислими козирками породи, поблизу нестійких укосів або на майданчику з ознаками деформації. Під час роботи екскаватора не допускається перебування людей у зоні дії ковша, стріли, канатів і поворотної платформи. За матеріалами паспорта екскаваторного вибою Петрівського кар'єру, технічні та організаційні заходи безпеки при роботі екскаватора повинні включати перевірку стану вибою перед початком робіт, очищення уступу від нависань і козирків, контроль стійкості робочого майданчика, правильне розміщення екскаватора і транспортних засобів, а також дотримання встановлених схем під'їзду автосамоскидів. Екскаватор повинен працювати на стійкому, спланованому і вирівняному майданчику. Поперечний ухил робочої площадки не повинен перевищувати допустимих значень, оскільки надмірний ухил може призвести до втрати стійкості машини, ускладнення черпання і підвищення небезпеки під час повороту платформи. Робота екскаватора на майданчику з ознаками просідання,

розмиву, тріщин або нестійкості не допускається. Подача автосамоскидів під навантаження повинна здійснюватися за схемами, передбаченими паспортом екскаваторного вибою. Залежно від ширини робочого майданчика та конфігурації вибою можуть застосовуватися кільцева або тупикова схеми під'їзду транспорту. Кільцева схема є більш бажаною за наявності достатнього простору, оскільки зменшує кількість зворотних маневрів і сприяє ритмічній роботі екскаваторно-автомобільного комплексу. Тупикова схема потребує підвищеної уваги до сигналів машиніста екскаватора та безпечних відстаней між машинами. Під час навантаження забороняється перебування людей між екскаватором і автосамоскидом, під стрілою, у зоні дії ковша, поблизу канатів, поворотної платформи та в межах можливого падіння кусків породи. Водій автосамоскида повинен виконувати сигнали машиніста екскаватора, не виконувати самовільних маневрів і залишатися в безпечному місці відповідно до встановленого порядку. Машиніст екскаватора перед початком роботи повинен переконатися у відсутності людей у небезпечній зоні, справності обладнання, достатній видимості робочої зони, відсутності нависань і нестійких ділянок уступу. У процесі роботи машиніст зобов'язаний стежити за станом вибою, положенням автосамоскида, переміщенням ковша, стійкістю розвалу гірничої маси та появою ознак небезпеки. У разі виникнення аварійної ситуації, появи тріщин, осипів, загрози обвалу, виявлення відмов вибухових матеріалів або порушення схеми руху транспорту роботи повинні бути негайно припинені. Екскаватор і транспортні засоби необхідно вивести у безпечну зону, небезпечну ділянку позначити або огородити, а подальше виконання робіт дозволяється лише після огляду відповідальними особами та усунення небезпеки. Таким чином, паспорт екскаваторного вибою є важливим організаційно-технологічним документом, який забезпечує безпечну роботу екскаватора у скельному вибої. Його дотримання дозволяє знизити ризики обвалення породи, зіткнення техніки, травмування працівників, пошкодження обладнання та простоїв екскаваторно-транспортного комплексу. Фрагменти паспорта екскаваторного вибою, що містять основні вимоги безпеки, наведено в додатку Б. Схеми організації під'їзду, розвороту і розміщення автосамоскидів у

зоні навантаження наведено в додатку В. Під час навантаження водій автосамоскида повинен виконувати сигнали машиніста екскаватора, розміщувати машину у визначеному місці та не виконувати самовільних маневрів. Навантаження має здійснюватися рівномірно, без перевищення вантажопідйомності транспортного засобу. Водій автосамоскида має виконувати сигнали машиніста екскаватора і розміщувати машину у визначеному місці. Під час навантаження забороняється вихід водія із кабіни без дозволу, перебування людей між екскаватором і автосамоскидом, а також виконання маневрів без сигналу. Навантаження повинно виконуватися рівномірно, без перевищення вантажопідйомності транспортного засобу. Безпека автомобільного транспорту забезпечується справним станом кар'єрних доріг, дотриманням швидкісного режиму, правильним розміщенням дорожніх знаків, наявністю орієнтувальних валів, достатньою шириною проїзної частини, освітленням у темний час доби та постійним контролем технічного стану автосамоскидів. Особливу увагу слід приділяти ділянкам з ухилами, поворотами, перехрестями, місцям роз'їзду, під'їздам до екскаваторів і відвалів. Автосамоскиди, що працюють у кар'єрі, повинні мати справні гальма, рульове керування, звукову та світлову сигналізацію, дзеркала, системи освітлення, засоби пожежогасіння та інші пристрої безпеки. Перед початком зміни водій зобов'язаний перевірити технічний стан машини. Експлуатація несправного автосамоскида не допускається. Під час руху необхідно дотримуватися безпечної дистанції, встановленої швидкості та правил переваги руху. На відвалах безпека робіт забезпечується дотриманням встановленої схеми розвантаження, наявністю запобіжного валу біля бровки, справним станом відвальної площадки та контролем стійкості укосу. Розвантаження автосамоскидів безпосередньо біля бровки відвалу допускається лише за умови наявності захисного валу, висота якого відповідає вимогам безпеки. Бульдозерні роботи на відвалі повинні виконуватися з урахуванням відстані до бровки, стану поверхні і можливості осідання породи. Важливим технічним заходом безпеки є організація водовідливу і водовідведення. Підтоплення робочих горизонтів може призвести до розмиву доріг, зниження стійкості уступів, аварійного зупинення обладнання та

погіршення умов праці. Тому водозбірники, насосні станції, водовідвідні канали та дренажні споруди повинні підтримуватися у справному стані. Після інтенсивних опадів або танення снігу необхідно проводити додаткові огляди робочих майданчиків, доріг і укосів. Електробезпека на кар'єрі забезпечується правильним улаштуванням, експлуатацією і технічним обслуговуванням електроустановок, кабельних ліній, освітлювальних мереж, насосних станцій і переносного електрообладнання. Усі електроустановки повинні мати захисне заземлення, справну ізоляцію, захист від короткого замикання і перевантажень. Роботи з ремонту електрообладнання дозволяється виконувати лише працівникам відповідної кваліфікації після зняття напруги та вжиття заходів проти її випадкового подавання. Для зниження впливу пилу необхідно застосовувати зрошення кар'єрних доріг, пилопригнічення при бурінні, зволоження місць навантаження і розвантаження, своєчасне планування доріг і відвальних поверхонь. Працівники, які перебувають у запилених зонах, повинні використовувати респіратори або інші засоби захисту органів дихання. Контроль запиленості повітря має проводитися відповідно до встановленого порядку. Для захисту працівників від шуму та вібрації необхідно використовувати технічно справне обладнання, виконувати своєчасний ремонт машин, застосовувати шумоізоляційні кабінки, амортизувальні сидіння, протишумові навушники та інші засоби індивідуального захисту. Працівникам, які тривалий час перебувають у зонах підвищеного шуму або вібрації, необхідно забезпечувати регламентовані перерви та медичний контроль. Організаційні заходи безпеки включають навчання працівників, проведення інструктажів, перевірку знань з охорони праці, допуск до робіт підвищеної небезпеки, призначення відповідальних осіб, ведення журналів інструктажів і контроль виконання вимог безпеки. Кожен працівник повинен знати свої обов'язки, порядок дій у разі аварійної ситуації, сигнали оповіщення, маршрути евакуації та правила використання засобів індивідуального захисту. На підприємстві повинні проводитися вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі. Вступний інструктаж проводиться для всіх працівників, які приймаються на роботу. Первинний інструктаж виконується безпосередньо на

робочому місці. Повторний інструктаж проводиться періодично для закріплення знань з безпеки праці. Позаплановий інструктаж проводиться у разі зміни технології, обладнання, правил безпеки або після порушень. Цільовий інструктаж проводиться перед виконанням разових або особливо небезпечних робіт. Допуск до робіт підвищеної небезпеки дозволяється лише працівникам, які пройшли навчання, перевірку знань, медичний огляд і мають відповідну кваліфікацію. До таких робіт належать вибухові роботи, роботи поблизу електроустановок, ремонт великогабаритного обладнання, роботи на висоті, роботи поблизу бровок уступів і відвалів, а також роботи у небезпечних зонах. Засоби індивідуального захисту є важливим елементом системи охорони праці. Працівники кар'єру повинні бути забезпечені захисними касками, спецодягом, спецвзуттям, світловідбивальними жилетами, рукавицями, захисними окулярами, респіраторами, протишумовими навушниками, запобіжними поясами та іншими засобами залежно від характеру виконуваних робіт. Використання засобів індивідуального захисту повинно бути обов'язковим і постійно контролюватися відповідальними особами. Для забезпечення безпечної роботи у темний час доби необхідно організувати освітлення робочих майданчиків, транспортних доріг, місць навантаження, розвантаження, ремонтних зон і пішохідних переходів. Недостатнє освітлення може призвести до наїздів, падінь, неправильного маневрування техніки та помилок персоналу. Освітлювальні установки повинні бути справними, правильно розміщеними і не створювати засліплення водіїв та машиністів. Важливим організаційним заходом є диспетчерський контроль за роботою гірничого обладнання і транспорту. Диспетчеризація дає змогу координувати роботу екскаваторів, автосамоскидів, бульдозерів, бурових верстатів і допоміжної техніки, зменшувати простої, запобігати скупченню транспорту в небезпечних місцях і оперативно реагувати на аварійні ситуації. Основні технічні та організаційні заходи безпеки на відкритих гірничих роботах наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Технічні та організаційні заходи безпеки на кар'єрі

Напрямок робіт	Технічні заходи	Організаційні заходи
Бурові роботи	Справність бурових верстатів, пиловловлювання, стійкий робочий майданчик, безпечна відстань до бровки	Паспорт буріння, інструктаж машиністів, огляд майданчика, обмеження доступу сторонніх осіб
Вибухові роботи	Якісна забивка, справна вибухова мережа, огороження небезпечної зони, сигнальні засоби	Виконання робіт за паспортом, евакуація людей, виставлення постів, допуск лише підготовленого персоналу
Екскаторні роботи	Стійкий майданчик, справність екскаватора, безпечна зона роботи ковша і стріли	Паспорт вибою, сигнали машиніста, заборона перебування людей у зоні навантаження
Автомобільний транспорт	Справні дороги, орієнтувальні вали, освітлення, дорожні знаки, справні гальма і сигналізація	Дотримання швидкості, маршрути руху, диспетчерський контроль, інструктаж водіїв
Відвалоутворення	Запобіжний вал, стійкий укіс, спланована відвальна площадка, справні бульдозери	Дотримання схеми розвантаження, контроль бровки, обмеження роботи у небезпечних зонах
Водовідлив	Справні насоси, водозбірники, водовідвідні канали, дренажні споруди	Огляд після опадів, контроль водоприпливів, своєчасне очищення каналів
Електробезпека	Заземлення, справна ізоляція, захист від короткого замикання, огороження електроустановок	Допуск кваліфікованого персоналу, роботи після зняття напруги, інструктажі
Захист від пилу, шуму і вібрації	Пилопригнічення, шумоізоляція, справність машин, амортизувальні елементи	Використання ЗІЗ, медичний контроль, регламентовані перерви, контроль умов праці

Таким чином, технічні та організаційні заходи безпеки на відкритих гірничих роботах повинні забезпечувати зниження ризиків на всіх етапах виробничого процесу. До основних технічних заходів належать підтримання справного стану обладнання, безпечне формування уступів і відвалів, правильна організація транспортних доріг, пилопригнічення, водовідведення, електрозахист і освітлення робочих місць. Організаційні заходи включають навчання персоналу, інструктажі,

контроль дотримання правил безпеки, диспетчеризацію, допуск до робіт підвищеної небезпеки та забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Комплексне виконання цих заходів створює умови для безпечної та стабільної роботи кар'єру.

3.6. Пожежна безпека і заходи цивільного захисту

Пожежна безпека на відкритих гірничих роботах є важливою складовою загальної системи охорони праці та протияварійного захисту. Незважаючи на те, що основні виробничі процеси в кар'єрі виконуються на відкритому просторі, ризик виникнення пожеж залишається суттєвим через використання великогабаритної техніки, дизельного палива, мастильних матеріалів, електрообладнання, вибухових матеріалів, зварювальних робіт, ремонтних майданчиків і допоміжної інфраструктури. Основними джерелами пожежної небезпеки у кар'єрі є кар'єрні автосамоскиди, екскаватори, бурові верстати, бульдозери, насосні установки, електрообладнання, склади паливно-мастильних матеріалів, ремонтні ділянки, зварювальні пости, кабельні лінії, пересувні електростанції та інші об'єкти виробничої інфраструктури. Пожежа на гірничому обладнанні може призвести не лише до матеріальних збитків, а й до зупинки технологічного процесу, травмування працівників, вибухонебезпечних ситуацій і ускладнення евакуації з нижніх горизонтів кар'єру. Пожежонебезпечними факторами на відкритих гірничих роботах є:

- наявність дизельного палива, мастил, гідравлічних рідин та інших горючих матеріалів;
- висока температура окремих вузлів машин і механізмів;
- можливість короткого замикання в електрообладнанні;
- іскроутворення під час зварювальних і ремонтних робіт;
- порушення правил заправлення та технічного обслуговування техніки;

- витікання палива або мастильних матеріалів;
- перегрів двигунів і гальмівних систем транспортних засобів;
- недотримання правил поводження з вибуховими матеріалами;
- відсутність або несправність первинних засобів пожежогасіння.

Для запобігання пожежам необхідно забезпечувати справний технічний стан гірничого обладнання. Автосамоскиди, екскаватори, бурові верстати, бульдозери та інші машини повинні проходити регулярні технічні огляди, планове обслуговування і ремонт. Особливу увагу слід приділяти стану паливної системи, гідравлічних магістралей, електропроводки, акумуляторних батарей, системи охолодження, гальмівних механізмів і місць можливого витікання горючих рідин. Експлуатація машин із несправностями, які можуть спричинити пожежу, не допускається. У разі виявлення витіку палива, мастила, перегріву вузлів, запаху горілого, задимлення або іскріння обладнання робота повинна бути негайно припинена, а машина виведена у безпечне місце для огляду та ремонту. Працівники повинні знати порядок дій у разі виникнення пожежі на машині та вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння. Заправлення гірничої техніки паливом повинно здійснюватися лише у спеціально визначених місцях або із застосуванням спеціалізованих паливозаправників з дотриманням вимог пожежної безпеки. Під час заправлення забороняється паління, використання відкритого вогню, проведення зварювальних робіт або інших операцій, що можуть спричинити займання. Місця заправлення повинні бути забезпечені засобами пожежогасіння, матеріалами для ліквідації розливів палива та знаками пожежної безпеки. Зварювальні, газорізальні та інші вогневі роботи повинні виконуватися лише за дозволом відповідальних осіб і з дотриманням установленого порядку. Перед початком таких робіт необхідно очистити робоче місце від горючих матеріалів, перевірити наявність вогнегасників, забезпечити контроль за місцем проведення робіт і виключити можливість займання палива, мастил або кабельної продукції.

Після завершення вогневих робіт місце їх виконання повинно бути перевірене на відсутність тління або прихованого займання. Електрообладнання кар'єру повинно експлуатуватися у справному стані. Кабельні лінії, електродвигуни, освітлювальні установки, насосні станції, розподільні пристрої та переносне електрообладнання повинні мати справну ізоляцію, захист від короткого замикання і перевантаження, а також відповідне заземлення. Забороняється використання пошкоджених кабелів, саморобних електричних з'єднань, несправних подовжувачів і обладнання з ознаками перегріву. Усі гірничі машини, транспортні засоби, ремонтні майданчики, склади паливно-мастильних матеріалів, електроустановки та інші пожежонебезпечні об'єкти повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. До них належать порошкові та вуглекислотні вогнегасники, ящики з піском, пожежний інвентар, покривала для ізоляції осередку займання, пожежні щити, а на окремих об'єктах — системи автоматичного пожежогасіння або пожежної сигналізації. Засоби пожежогасіння повинні бути справними, доступними, промаркованими та розміщеними у визначених місцях. Працівники кар'єру повинні проходити інструктажі з пожежної безпеки. Під час таких інструктажів необхідно роз'яснювати основні причини пожеж, правила поводження з горючими матеріалами, порядок використання вогнегасників, дії у разі займання техніки, порядок повідомлення про пожежу, евакуації людей і виклику аварійно-рятувальних служб. Особливу увагу слід приділяти працівникам, які виконують роботи з підвищеною пожежною небезпекою. У разі виникнення пожежі працівник, який її виявив, повинен негайно повідомити керівника робіт або диспетчера, подати сигнал тривоги, попередити людей, які перебувають поблизу, і, за можливості без ризику для життя, розпочати гасіння пожежі первинними засобами. Якщо пожежа швидко поширюється або є загроза вибуху, необхідно негайно залишити небезпечну зону, організувати евакуацію людей і техніки та забезпечити доступ пожежно-рятувальних підрозділів. Важливою умовою пожежної безпеки є підтримання проїздів і під'їздів до пожежонебезпечних об'єктів у справному стані. Кар'єрні дороги, під'їзди до насосних станцій, ремонтних майданчиків, складів, заправних пунктів та інших об'єктів повинні бути

доступними для пожежної або аварійної техніки. У зимовий період необхідно забезпечувати очищення доріг від снігу й ожеледиці, а в літній — підтримувати покриття у стані, що дозволяє безпечний рух. Цивільний захист на кар'єрі передбачає комплекс заходів, спрямованих на захист працівників, обладнання, виробничих об'єктів і навколишньої території від надзвичайних ситуацій техногенного, природного, соціального або воєнного характеру. Для гірничого підприємства такими ситуаціями можуть бути аварії на обладнанні, пожежі, вибухи, зсуви і обвали, підтоплення кар'єру, сильні зливи, буревії, ожеледиця, порушення електропостачання, аварії на транспорті, забруднення довкілля, а також інші небезпечні події. Основними завданнями цивільного захисту на кар'єрі є:

- своєчасне виявлення загрози виникнення надзвичайної ситуації;
- оповіщення працівників про небезпеку;
- організація евакуації персоналу з небезпечних зон;
- забезпечення першої домедичної допомоги потерпілим;
- локалізація і ліквідація наслідків аварії;
- забезпечення стійкої роботи важливих виробничих об'єктів;
- взаємодія з аварійно-рятувальними, медичними та пожежними службами;
- навчання персоналу діям у надзвичайних ситуаціях.

На підприємстві повинна діяти система оповіщення персоналу. Вона може включати звукові сигнали, радіозв'язок, телефонний зв'язок, диспетчерські повідомлення, сигнальні пристрої, мобільні засоби інформування та інші канали передачі інформації. Працівники повинні знати значення сигналів оповіщення, порядок дій після їх отримання, маршрути виходу з небезпечних зон і місця збору. Для кожної виробничої дільниці мають бути визначені безпечні маршрути евакуації та місця збору працівників. Особливо важливим це є для нижніх

горизонтів кар'єру, де евакуація може ускладнюватися через обмежену кількість з'їздів, інтенсивний рух техніки, задимлення, підтоплення або пошкодження транспортних комунікацій. Маршрути евакуації повинні підтримуватися у справному стані, бути вільними від завалів, негабаритних кусків породи та несправної техніки. У разі аварії або надзвичайної ситуації першочерговими діями є припинення робіт у небезпечній зоні, зупинка обладнання, виведення людей на безпечну відстань, повідомлення диспетчера і керівника робіт, огороження небезпечної ділянки та організація ліквідації наслідків. Якщо є потерпілі, їм повинна бути надана домедична допомога до прибуття медичних працівників. Працівники, які можуть бути залучені до надання допомоги, повинні проходити відповідне навчання. Цивільний захист також передбачає готовність підприємства до дій у разі несприятливих природних явищ. При сильних зливах необхідно посилювати контроль водовідливу, стану укосів, транспортних доріг і відвалів. При ожеледиці слід обмежувати швидкість руху, виконувати посипання доріг протиожеледними матеріалами та контролювати безпечність спусків і підйомів. При сильному вітрі, тумані або снігопаді необхідно враховувати погіршення видимості, можливість аварій на транспорті та небезпеку падіння предметів. В умовах можливих надзвичайних ситуацій воєнного характеру особливого значення набувають заходи оповіщення, укриття та евакуації персоналу. Працівники повинні знати порядок дій у разі сигналу повітряної тривоги, місця розташування укриттів або безпечних зон, маршрути переміщення, порядок зупинки обладнання і відповідальних осіб за організацію евакуації. Виробничі процеси у таких умовах повинні виконуватися з урахуванням вимог безпеки персоналу. Для підвищення готовності персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях необхідно проводити навчання, тренування, протиаварійні інструктажі та практичні відпрацювання дій. Такі заходи дозволяють працівникам краще орієнтуватися у складних ситуаціях, швидко реагувати на сигнали оповіщення, правильно користуватися засобами пожежогасіння, надавати домедичну допомогу та діяти без паніки. Основні заходи пожежної безпеки і цивільного захисту наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 — Основні заходи пожежної безпеки і цивільного захисту на кар'єрі

Напрямок безпеки	Можлива небезпека	Основні заходи
Гірниче обладнання	Займання двигуна, витік палива або мастила, перегрів вузлів	Технічне обслуговування, огляд перед зміною, наявність вогнегасників, заборона роботи несправної техніки
Паливно-мастильні матеріали	Розлив палива, займання, вибухонебезпечна ситуація	Заправлення у визначених місцях, засоби пожежогасіння, матеріали для ліквідації розливів, заборона відкритого вогню
Електрообладнання	Коротке замикання, перегрів, ураження струмом, пожежа	Справна ізоляція, заземлення, захист від перевантаження, допуск кваліфікованого персоналу
Вогневі роботи	Іскроутворення, займання горючих матеріалів	Дозвіл на виконання робіт, очищення місця, наявність вогнегасників, контроль після завершення робіт
Буровибухові роботи	Вибух, розліт породи, пилогазова хмара	Небезпечна зона, сигнали оповіщення, евакуація людей, виконання робіт за паспортом
Надзвичайні ситуації природного характеру	Зливи, ожеледиця, сильний вітер, туман	Контроль доріг і укосів, посилення водовідливу, обмеження руху, додаткові огляди
Цивільний захист персоналу	Пожежа, аварія, обвал, підтоплення, повітряна тривога	Оповіщення, евакуація, місце збору, укриття, навчання персоналу, взаємодія з аварійними службами

Таким чином, пожежна безпека і цивільний захист на кар'єрі повинні забезпечувати готовність підприємства до запобігання пожежам, аваріям і надзвичайним ситуаціям, а також до швидкого реагування у разі їх виникнення. Основними заходами є підтримання справного стану обладнання, безпечне поводження з паливно-мастильними матеріалами, контроль електрообладнання, дотримання правил виконання вогневих і вибухових робіт, забезпечення первинними засобами пожежогасіння, навчання персоналу, організація системи

оповіщення, евакуації та взаємодії з аварійно-рятувальними службами. Виконання цих заходів дозволяє знизити ризик пожеж, аварійних ситуацій і забезпечити захист працівників у процесі відкритої розробки родовища.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі розглянуто питання розробки Петрівського родовища залізних руд з оптимізацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК». У процесі виконання роботи проаналізовано сучасний стан відкритих гірничих робіт, охарактеризовано технології видобутку і транспортування гірничої маси, розглянуто гірничо-геологічні та гірничо-технічні умови Петрівського родовища, виконано розрахунок основних технологічних параметрів умовного кар'єру, а також розроблено заходи з охорони навколишнього середовища, охорони праці, пожежної безпеки та цивільного захисту.

У першому розділі встановлено, що відкритий спосіб розробки залишається одним із найбільш ефективних способів видобування залізорудної сировини. Його перевагами є можливість застосування потужного бурового, виймально-навантажувального і транспортного обладнання, комплексна механізація основних процесів та висока продуктивність. Водночас сучасні відкриті гірничі роботи характеризуються зростанням глибини кар'єрів, ускладненням умов транспортування, підвищенням вимог до стійкості бортів, безпеки праці та охорони навколишнього середовища.

Проаналізовано основні тенденції розвитку відкритих гірничих робіт, зокрема цифровізацію гірничого виробництва, використання систем диспетчеризації, цифрового моделювання, машинного навчання, оптимізації буровибухових робіт, удосконалення транспортних схем і підвищення екологічної ефективності виробництва.

Аналіз сучасних фахових джерел показав, що оптимізація видобувних робіт у залізорудних кар'єрах має комплексний характер і охоплює не лише окремі технологічні процеси, а всю систему відкритої розробки родовища.

У роботі наведено характеристику ПрАТ «ЦГЗК» як гірничо-збагачувального підприємства, діяльність якого пов'язана з видобутком і переробкою залізорудної

сировини. Кар'єр № 3 розглянуто як основний об'єкт дослідження, пов'язаний із відкритою розробкою Петрівського родовища залізистих кварцитів. За наявними матеріалами кар'єр № 3 має проектну потужність близько 6,0 млн т руди на рік, значну глибину розробки, розвинену систему уступів, комбіновану транспортну схему та зовнішнє відвалоутворення.

Уточнено основні гірничо-технічні параметри кар'єру № 3. За наявними матеріалами довжина кар'єру по поверхні становить близько 1905 м, ширина — близько 1000 м, площа по поверхні — 157,5 га, відмітка дна — близько -150 м, глибина — близько 265 м. Гірничі роботи розвиваються переважно у північному та південно-західному напрямках, довжина фронту робіт по руді становить близько 700 м, а по розкривних породах — близько 4000 м. Ці показники підтверджують складність організації гірничих робіт і необхідність раціонального планування розвитку кар'єру.

Встановлено, що у кар'єрі № 3 застосовується транспортна система відкритої розробки із зовнішнім відвалоутворенням. Розробка виконується уступами зверху вниз із послідовним пониженням гірничих робіт. Висота уступів у пухких породах становить близько 10 м, у скельних породах — 15 м. Ширина запобіжних берм приймається близько 10 м, ширина транспортних берм для автомобільного транспорту — близько 32 м, для залізничного транспорту — близько 20 м. У відпрацьованому вигляді максимальна глибина кар'єру може досягати близько 500 м, що підвищує значення стійкості бортів і раціонального розкриття нижчих горизонтів.

У другому розділі виконано розрахунок технологічних параметрів умовного кар'єру за прийнятими вихідними даними. Для розрахункової частини прийнято крутоспадаючий поклад з нормальною потужністю 220 м, довжиною за простяганням 1910 м, кутом падіння 70° , глибиною залягання корисної копалини 30 м, густиною корисної копалини $3,3 \text{ т/м}^3$ і густиною розкривних порід $2,9 \text{ т/м}^3$.

Проектна продуктивність умовного кар'єру за корисною копалиною становить 2,0 млн т/рік, а проектні втрати корисної копалини — 3 %.

У результаті розрахунків визначено основні геометричні та виробничі параметри умовного кар'єру. Горизонтальна потужність покладу становить 234,1 м, кінцева глибина кар'єру — 167,67 м, довжина кар'єру по поверхні — 2282,2 м, ширина по поверхні — 606,3 м. Об'єм корисної копалини в контурах кар'єру становить 61,56 млн м³, балансові запаси — 203,14 млн т, промислові запаси — 197,04 млн т. Загальний об'єм розкривних порід становить 86,40 млн м³, середній коефіцієнт розкриву — 0,425 м³/т, а орієнтовний строк експлуатації кар'єру — близько 99 років.

Для умовного родовища обґрунтовано транспортну поглиблювальну систему відкритої розробки. Прийнято висоту уступу 15 м, ширину робочого майданчика близько 28–30 м і нормальну ширину заходки 25,7 м. Для розкриття родовища передбачено систему внутрішніх капітальних траншей, розташованих на неробочому борту кар'єру. Прийняті розрахункові рішення відповідають загальним принципам відкритої розробки крутоспадаючих залізрудних покладів.

Для підготовки міцних скельних порід до виймання прийнято буровибуховий спосіб із застосуванням вертикальних свердловинних зарядів. Для буріння вибухових свердловин обрано буровий верстат СБШ-250. Діаметр заряду становить 0,27 м, довжина свердловини — 17,3 м, довжина перебуру — 2,3 м. Для забезпечення річної виробничої програми прийнято 3 бурові верстати з урахуванням резерву, а орієнтовна річна витрата вибухової речовини становить 3556 т/рік.

Наявні матеріали по кар'єру № 3 підтверджують доцільність застосування буровибухової підготовки скельних порід при розробці Петрівського родовища. У кар'єрі використовуються бурові верстати типу СБШ-250МН, а для робіт у приконтурній зоні може застосовуватися контурне підривання похилих

свердловин. Такі рішення спрямовані на забезпечення якісного дроблення гірничої маси, продуктивної роботи екскаваторів і збереження стійкості бортів кар'єру.

Для виконання виймально-навантажувальних робіт у розрахунковій частині прийнято екскаватор ЕКГ-12ус з місткістю ковша 12,5 м³. Розрахункова змінна продуктивність одного екскаватора становить 7219,0 м³/змін, добова — 21657,0 м³/добу, річна — близько 7,58 млн м³/рік. Для забезпечення видобувних і розкривних робіт прийнято два робочі екскаватори: один для корисної копалини і один для розкривних порід. З урахуванням резерву інвентарний парк становить 3 екскаватори.

Для конкретизації виймально-навантажувальних робіт використано матеріали паспорта екскаваторного вибою Петрівського кар'єру. У наявних матеріалах наведено схеми роботи екскаватора у скельному вибої з навантаженням у автомобільний транспорт, зокрема схеми проходки траншеї, кільцевого і тупикового під'їзду автотранспорту, розвороту автосамоскидів і роботи екскаватора відносно уступу. Це дозволило уточнити технологічні та організаційні умови роботи екскаваторно-автомобільного комплексу.

Для транспортування кар'єрних вантажів у розрахунковій частині прийнято автосамоскиди вантажопідйомністю 130 т. Повний час рейсу автосамоскида становить 28,3 хв, час навантаження — 2,12 хв. Для ритмічного обслуговування одного екскаватора потрібно 14 автосамоскидів. Для двох робочих екскаваторів робочий парк автосамоскидів становить 28 машин, а інвентарний парк з урахуванням технічної готовності — 35 машин.

За наявними матеріалами у кар'єрі № 3 застосовується комбінована автомобільно-залізнична транспортна схема. Руда в межах кар'єру транспортується до внутрішньокар'єрного перевантажувального пункту, після чого залізничним транспортом доставляється на збагачувальну фабрику. Розкривні породи переміщуються із застосуванням автомобільного і залізничного транспорту

залежно від горизонту робіт. Така схема дозволяє поєднати маневреність автомобільного транспорту на робочих горизонтах із провізною здатністю залізничного транспорту на магістральних напрямках.

У роботі розглянуто питання відвалоутворення розкривних порід. Для умовного кар'єру визначено загальний обсяг розкриву 86,40 млн м³, необхідну площу відвалу близько 531,7 га та річну потребу у площі відвалоутворення приблизно 5,23 га. Для формування відвального ярусу прийнято один робочий бульдозер, а з урахуванням резерву — два бульдозери в інвентарному парку.

Наявні матеріали щодо кар'єру № 3 свідчать, що його відвальне господарство має розгалужену структуру та включає відвал № 1, відвал № 2, відвал № 3 і тимчасовий відвал кар'єру № 3. Проектна місткість відвалу № 1 становить близько 34,0 млн м³, відвалу № 2 — 48,7 млн м³, відвалу № 3 — 60,1 млн м³. Тимчасовий відвал кар'єру № 3 розташований у північному торці кар'єру. Це підтверджує, що організація відвалоутворення є важливою складовою оптимізації видобувних робіт, оскільки вона впливає на транспортні витрати, темпи розкриття рудних горизонтів та екологічний стан території.

У третьому розділі проаналізовано екологічні аспекти, питання охорони праці та цивільного захисту при відкритій розробці родовища. Встановлено, що основними екологічними проблемами є порушення земель, утворення відвалів, забруднення атмосферного повітря пилом і газами, вплив на поверхневі та підземні води, шумове і вібраційне навантаження, утворення виробничих відходів і необхідність рекультивації порушених земель.

Запропоновано технологічні заходи з охорони навколишнього середовища: пилопригнічення при бурінні, навантаженні, транспортуванні та на відвалах; зрошення кар'єрних доріг; оптимізацію параметрів буровибухових робіт; очищення і повторне використання кар'єрних вод; раціональне формування

відвалів; збереження родючого шару ґрунту; поетапну рекультивацію; контроль шумового, пилового і водного впливу; екологічний моніторинг.

У межах охорони праці розглянуто систему протиаварійного захисту, основні небезпечні й шкідливі фактори відкритих гірничих робіт та технічні заходи безпеки. Особливу увагу приділено роботі екскаватора у скельному вибої. За матеріалами паспорта екскаваторного вибою визначено основні вимоги до безпечного розміщення екскаватора, автосамоскидів і допоміжного обладнання, контролю стану уступу, заборони роботи під навислими козирками, недопущення перебування людей у зоні дії ковша, стріли, канатів і поворотної платформи.

Встановлено, що безпечна робота екскаваторно-транспортного комплексу повинна забезпечуватися дотриманням паспорта екскаваторного вибою, правильним вибором схеми під'їзду автосамоскидів, контролем стійкості робочого майданчика, своєчасним очищенням вибою від нависань, подаванням сигналів машиністом екскаватора та припиненням робіт у разі загрози обвалу, появи тріщин або виявлення відмов вибухових матеріалів. Це дозволяє зменшити ризик аварій, травмування працівників, пошкодження обладнання і простоїв виробничого процесу.

У роботі також розглянуто питання пожежної безпеки та цивільного захисту. Основними заходами є підтримання справного стану машин і електрообладнання, безпечне поводження з паливно-мастильними матеріалами, забезпечення техніки первинними засобами пожежогасіння, контроль виконання вогневих робіт, організація оповіщення, евакуації, навчання персоналу та взаємодії з аварійно-рятувальними службами.

Таким чином, у кваліфікаційній бакалаврській роботі досягнуто поставленої мети: виконано аналіз умов відкритої розробки Петрівського родовища залізних руд, розглянуто технологічні особливості роботи кар'єру № 3, проведено розрахунок основних технологічних параметрів умовного кар'єру та обґрунтовано

напрями оптимізації видобувних робіт. До основних напрямів оптимізації належать удосконалення роботи екскаваторно-транспортного комплексу, раціональна організація комбінованої транспортної схеми, якісна буровибухова підготовка порід, скорочення простоїв обладнання, зменшення втрат і засмічення руди, ефективне відвалоутворення, дотримання паспорта екскаваторного вибою, підвищення рівня безпеки праці та зменшення негативного впливу відкритої розробки на навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гірничий закон України : Закон України від 06.10.1999 р. № 1127-XIV. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1127-14> (дата звернення: 30.05.2026).
2. Кодекс України про надра : Закон України від 27.07.1994 р. № 132/94-ВР. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/132/94-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 30.05.2026).
3. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12> (дата звернення: 30.05.2026).
4. Про затвердження Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом : наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18.03.2010 р. № 61. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0356-10> (дата звернення: 30.05.2026).
5. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електроустаткування та електромереж на відкритих гірничих роботах : наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 05.04.2012 р. № 671. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0641-12> (дата звернення: 30.05.2026).
6. Про затвердження Положення про проектування гірничодобувних підприємств України та визначення запасів корисних копалин за ступенем підготовленості до видобування : наказ Міністерства промислової політики України від 07.05.2004 р. № 221. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0846-04> (дата звернення: 30.05.2026).
7. Інструкція з ведення відкритих гірничих робіт. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2023.

8. Центральний гірничо-збагачувальний комбінат : офіційний сайт. Metinvest Group. URL: <https://cgok.metinvestholding.com/uk-ua/about-us/> (дата звернення: 30.05.2026).

9. Продукція Центрального гірничо-збагачувального комбінату : офіційний сайт. Metinvest Group. URL: <https://cgok.metinvestholding.com/uk-ua/products/> (дата звернення: 30.05.2026).

10. World Steel Association. December 2025 crude steel production and 2025 global crude steel production totals. URL: <https://worldsteel.org/media/press-releases/2026/december-2025-crude-steel-production-2025-global-crude-steel-production/> (дата звернення: 30.05.2026).

11. U.S. Geological Survey. Iron Ore. Mineral Commodity Summaries 2026. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026-iron-ore.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

12. International Council on Mining and Metals. Innovation for Cleaner, Safer Vehicles. URL: <https://www.icmm.com/en-gb/our-story/our-collaborations/cleaner-safer-vehicles> (дата звернення: 30.05.2026).

13. Metinvest Group. Metinvest announces 4Q and 12M 2025 operational results. URL: <https://metinvestholding.com/en/media/news/metinvest-announces-4q-and-12m-2025-operational-results> (дата звернення: 30.05.2026).

14. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи для здобувачів спеціальності 184 «Гірництво» / уклад.: О. А. Темченко, К. О. Шмельцер, С. В. Тіхлівець. Кривий Ріг : Державний університет економіки і технологій, 2026. 68 с.

15. Оперативне планування і управління гірничотранспортними роботами в кар'єрі при розробці залізрудних родовищ : монографія / Б. Ю. Собко, Д. В. Вінівітін, В. В. Лотоус, М. В. Назаренко, О. О. Азюковський, О. В. Ложніков, О. С. Ковров, О. М. Лазніков. Дніпро : Журфонд, 2020. 203 с.

16. Організація та планування відкритих гірничих робіт (системний підхід) : підручник для магістрів спеціальності 184 «Гірництво» / Б. Ю. Собко, В. В.

Панченко, В. Ю. Лотоус, Д. В. Винивитин ; Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 200 с.

17. Геоінформаційні технології на відкритих гірничих роботах для оптимізації процесів видобутку і переробки корисних копалин : монографія / М. В. Назаренко, Б. Ю. Собко, В. В. Лотоус, Д. В. Вінівітін, О. О. Азюковський, О. В. Ложніков, О. С. Ковров, О. М. Лазніков. Дніпро : Журфонд, 2020. 224 с.

18. Геомеханічна стійкість бортів кар'єрів у складноструктурному гірському масиві : монографія / О. С. Ковров, Б. Ю. Собко, О. В. Ложніков, О. М. Лазніков, О. О. Азюковський, В. В. Лотоус, М. В. Назаренко, Д. В. Вінівітін. Дніпро : Журфонд, 2020. 162 с.

19. Kunytska M., Lunov A., Panasiuk A., Iskov S., Shlapak V. Digital simulation of open-pit mining organisation system. International Journal of GEOMATE. 2023. Vol. 25, № 109. P. 197–204. DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2321>.

20. Денисюк О. Г., Панасюк А. В. Цифровізація гірничих підприємств в умовах розвитку Індустрії 4.0. Інвестиції: практика та досвід. 2023. № 4. С. 64–71.

21. Altiti H., Alrawashdeh R., Alnawafleh H. Open pit mining. Mining techniques: Past, present and future. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.92208>.

22. Zarubin M., Statsenko L., Spiridonov P., Zarubina V., Melkoumian N., Salykova O. A GIS software module for environmental impact assessment of the open pit mining projects for small mining operators in Kazakhstan. Sustainability. 2021. Vol. 13, № 12. Article 6971.

23. Xie C., Nguyen H., Bui X. N., Choi Y., Zhou J., Nguyen-Trang T. Predicting rock size distribution in mine blasting using various novel soft computing models based on meta-heuristics and machine learning algorithms. Geoscience Frontiers. 2021. Vol. 12, № 3. Article 101108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.005>.

24. Utili S., Agosti A., Morales N., Valderrama C., Pell R., Albornoz G. Optimal pitwall shapes to increase financial return and decrease carbon footprint of open pit mines. Mining, Metallurgy & Exploration. 2022. Vol. 39, № 2. P. 335–355. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42461-022-00546-8>.

25. Sobko B. Yu., Lozhnikov O. V., Chebanov M. O., Vinivitin D. V. Substantiation of the optimal parameters of the bench elements and slopes of iron ore pits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. № 5. P. 26–32. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/026>.
26. Анісімов О. О., Баряцька Н. В. Вдосконалення поточного планування процесів гірничих робіт в умовах залізорудних кар'єрів України. *Залізорудні родовища України: сучасні проблеми та перспективи розробки*. 2024. С. 45–48.
27. Баряцька Н., Луценко С., Григор'єв Ю., Плотніков О., Сафронова Н. Проєктування та планування відкритих гірничих робіт у програмному забезпеченні Micromine Beyond. *Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*. 2025. № 3. С. 203–208. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-27>.
28. Lutsenko S., Hryhoriev Y., Peregudov V., Kuttybayev A., Shampykova A. Improving the methods for determining the promising boundaries of iron ore open pits. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 280. Article 01005. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128001005>.
29. Purhamadani E., Bagherpour R., Tudeszki H. Energy consumption in open-pit mining operations relying on reduced energy consumption for haulage using in-pit crusher systems. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 291. Article 125228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125228>.
30. Shcherbakov P., Tymchenko S., Moldabayev S., Amankulov M., Babets D. Mathematical substantiation and creation of information tools for optimal control of drilling and blasting in open-pit mine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. № 6. P. 031–038. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/031>.
31. Hryhoriev Y., Lutsenko S., Kuttybayev A., Ermekkali A., Shamrai V. Study of the impact of the open pit productivity on the economic indicators of mining development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1254. Article 012050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012050>.
32. Morkun V. et al. Identification of mineralogical ore varieties using ultrasonic measurement results. *Mining of Mineral Deposits*. 2024. Vol. 18, № 3. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining18.03.001>.

33. Morkun V., Fischerauer G., Morkun N., Tron V., Haponenko A. Determining rock varieties on the basis of fuzzy clustering of ultrasonic measurement results. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 3156. P. 274–283.
34. Mirzezi M., Moradi A. Sustainable long-term production planning of open pit mines: An integrated framework for concurrent economical and environmental optimization. *Resources Policy*. 2024. Vol. 94. Article 105131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105131>.
35. Ebad S. A., Abueid A. I., Amara M., Ahmed R. AI-Driven Digital Twins in Mining Operations: A Comprehensive Review. *Technologies*. 2026. Vol. 14, № 5. Article 269. DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies14050269>.
36. Rosati R., Romeo L., Cecchini G., Tonetto F., Viti P., Mancini A., Frontoni E. From knowledge-based to big data analytic model: A novel IoT and machine learning based decision support system for predictive maintenance in Industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2023. Vol. 34, № 1. P. 107–121. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-022-01960-x>.
37. Gunckel P. V., Lobos G., Rodríguez F. K., Bustos R. M., Godoy D. Methodology proposal for the development of failure prediction models applied to conveyor belts of mining material using machine learning. *Reliability Engineering & System Safety*. 2025. Vol. 256. Article 110709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110709>.
38. Singh S. Machine learning: Approaches to predicting reliability and developing maintenance strategies. *Materials Research Proceedings*. 2023. Vol. 27. P. 308.
39. Rafezi H., Hassani F. Drill bit wear monitoring and failure prediction for mining automation. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2023. Vol. 33, № 3. P. 289–296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2022.10.006>.
40. Laayati O., El Hadraoui H., El Maghraoui A., Guennouni N., Mekhfioui M., Chebak A. Metaheuristic-optimized forecasting in a smart Edge—Fog—Cloud energy management framework: An industrial mining case study. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 27. Article 107303.

41. El Bazi N., Mabrouki M., Laayati O., Ouhabi N., El Hadraoui H., Hammouch F.-E., Chebak A. Generic Multi-Layered Digital-Twin-Framework-Enabled Asset Lifecycle Management for the Sustainable Mining Industry. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, № 4. Article 3470. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15043470>.
42. Kurt A., Kahraman M. M. From Reactive to Resilient: A Hybrid Digital Twin and Deep Learning Framework for Mining Operational Reliability. *Mining*. 2026. Vol. 6, № 1. Article 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/mining6010007>.
43. Qu J., Kizil M. S., Yahyaei M., Knights P. F. Digital twins in the minerals industry: A comprehensive review. *Mining Technology*. 2023. Vol. 132, № 4. P. 267–289. DOI: <https://doi.org/10.1080/25726668.2023.2257479>.
44. Nobahar P., Xu C., Dowd P., Shirani Faradonbeh R. Exploring digital twin systems in mining operations: A review. *Green and Smart Mining Engineering*. 2024. Vol. 1, № 4. P. 474–492.
45. Yusupbekov N., Adilov F., Ivanyan A., Abdurasulov F. Application of digital twin technologies in mining industrial branch. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 417. Article 05016.
46. Hazrathosseini A., Moradi Afrapoli A. The advent of digital twins in surface mining: Its time has finally arrived. *Resources Policy*. 2023. Vol. 80. Article 103155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103155>.
47. Panchenko V., Sobko B., Lotous V., Vinivitin D., Shabatura V. Openwork scheduling for steep-grade iron-ore deposits with the help of near-vertical layers. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15, № 1. P. 87–95. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining15.01.087>.
48. Григор'єв Ю. І., Луценко С. О., Швець Є. М., Куроп'ятник І. П. Динамічне проєктування техніко-економічних показників відкритих гірничих робіт за допомогою нейромережєвих технологій. *Збірник наукових праць НГУ*. 2024. № 76. С. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.033>.
49. Григор'єв Ю. І., Григор'єв І. Є., Слюсар С. В., Власенко В. А. Цифровізація як інструмент адаптації гірничого виробництва у невизначеному динамічному середовищі на прикладі впровадження K-MINE. *Вісник*

Національного університету водного господарства та природокористування. 2023. Т. 2, № 2(102).

50. Kynytska M., Piskun I., Kotenko V., Kryvoruchko A. Digital modelling technologies in the mining industry: Effectiveness and prospects of digitalisation of open-pit mining enterprises. Bulletin of Cherkasy State Technological University. 2024. Vol. 29, № 1. DOI: <https://doi.org/10.62660/bcstu/1.2024.52>.

51. Адамчук А. А., Шустов О. О. Системний підхід до вибору нових засобів транспорту для роботи на глибоких кар'єрах. Збірник наукових праць НГУ. 2018. № 54. С. 8–18.

52. Пижик А. М., Пижик М. М., Пашкова І. О., Пижик С. А. Організація та технологія перевезення гірських порід у виробленому просторі кар'єру. Вісник Криворізького національного університету. 2023. № 57. С. 77–80.

ДОДАТОК Б

Паспорт № 7 екскаваторних вибоїв по скельних породах із навантаженням у автомобільний транспорт Петрівського кар'єру

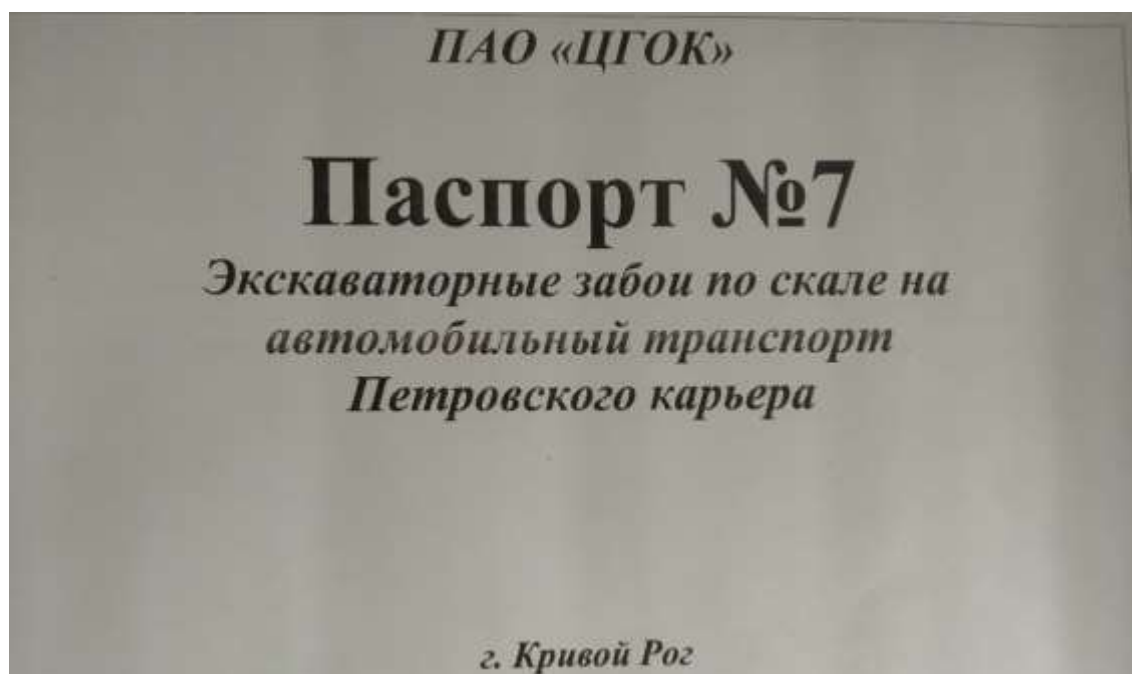


Рисунок Б.1 — Титульна сторінка паспорта екскаваторного вибою Петрівського кар'єру

Паспорт составлен в соответствии с требованиями «Единых правил безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом», Инструкция № 41-85 по организации работ при обнаружении и ликвидации отказавших скрепленных зарядов на карьерах ОАО «Центрального ГОКа», Требования к технологическим стандартам в карьерах и на отвалах согласно «ПБ при разработке МПИ открытым способом», СНиП 2.05.07-91 «Промышленный транспорт», «Норм технологического проектирования СОУ – Н МП 73.020-078-1:2007».

Основные требования техники безопасности

1. Высота забоя рудо-скальных пород с применением взрывных работ не должна превышать более чем в 1,5 раза высоту черпания экскаватора. При экскавации горной массы должны осуществляться дополнительные меры, препятствующие произвольному обрушению образовавшихся «козырьков» и навесей.

В случае превышения допустимой высоты забоя должны приниматься дополнительные меры (снятие «шанки» развала, поднятие уровня стояния экскаватора и другие).

2. При работе экскаватора в забое должна регулярно производиться его оборка от навесей и «козырьков», а также ликвидация заколов. Работы по оборке забоя должны производиться механизированным способом с помощью специальных приспособлений. Не допускается работа экскаваторов под «козырьками» и навесями уступов. Во время работы необходимо следить за состоянием забоя в целях предупреждения возможных вывалов отдельных глыб, могущих вызвать несчастный случай или аварию.

3. Горное и транспортное оборудование, транспортные коммуникации, линии электроснабжения и связи должны располагаться на рабочих площадках уступов за пределами призмы обрушения. При отсутствии призмы обрушения – на расстоянии не менее 1 м от верхней бровки уступа.

4. Экскаваторы должны располагаться в забое на твердом выровненном основании с уклоном, не превышающем допустимых технических паспортных экскаватора величин. Во всех случаях расстояние между бортом уступа или транспортными сосудами и контргрузом экскаватора должно быть не менее 1 м.

5. Углы откосов рабочих уступов при работе экскаватора типа механической лопаты не должны превышать 80 градусов.

6. Расстояние по горизонтали между рабочими местами или механизмами, расположенными на двух смежных по вертикали уступах, должно составлять не менее полутора максимальных радиусов черпания при экскаваторной разработке.

7. При передвижении экскаватора по горизонтальному пути или на подъеме ведущая ось его должна находиться сзади, а при спусках с уклона – впереди. Ковш должен быть опорожнен и находиться не выше 1 м от почвы, а стрела удерживается по ходу экскаватора. При движении экскаватора на подъеме или при спусках необходимо предусматривать меры, исключющие самопроизвольное скольжение.

8. При погрузке экскаваторами в средства автомобильного и железнодорожного транспорта машинист экскаватора должен подавать сигналы:

- «СТОП» – один короткий;
- сигнал, разрешающий подачу транспортного средства под погрузку – два коротких;
- начало погрузки – три коротких;
- сигнал об окончании погрузки и разрешения отъезда транспортного средства – один длинный.

Таблица сигналов должна быть вывешена на кузове экскаватора на видном месте и с ней должны быть ознакомлены водители транспортных средств.

9. Запрещается во время работы экскаватора пребывание людей (исключая и обслуживающий персонал) в зоне действия экскаватора.

10. В случае обнаружения отказа ВМ машинист экскаватора обязан немедленно прекратить работы в районе отказа. При невозможности продолжить погрузочные работы в безопасной зоне выводит оборудование за пределы 50-ти метровой опасной зоны, и выставляются предупреждающие об опасности знаки, сообщить об обнаруженном отказе горному надзору и диспетчеру.

11. В случае угрозы обрушения или оползания уступа во время работы экскаватора, машинист экскаватора обязан немедленно прекратить работы в районе обрушения или оползания уступа, отогнать экскаватор в безопасное место и сообщить об обнаруженной угрозе горному надзору и диспетчеру.

12. Поперечный уклон при работе экскаватора не должен превышать 2°.

Рисунок Б.2 — Основні вимоги техніки безпеки під час роботи екскаватора у скельному вибої

ТАБЛИЦА
основных параметров экскаваторного забоя

№	Наименование параметров	Буквенное обозначение	ЭКГ – 8Н	ЭКГ – 10
1	Наибольший радиус черпания при наибольшей высоте черпания, м	R	17,54	18,4
2	Радиус черпания на горизонте установки экскаватора, м	P	12	12,6
3	Наибольший радиус разгрузки, м	r	16,3	16,5
4	Наибольшая высота разгрузки, м	h	8,4	8,6
5	Угол откоса рабочего уступа, град	α	80	80
6	Наибольшая высота черпания, м	Hr	12,68	13,5
7	Высота забоя, м	Hз	1,5Hr	1,5Hr

Рисунок Б.3 — Основні параметри екскаваторного вибою

ДОДАТОК В

Схеми організації роботи екскаватора у скельному вибої Петрівського кар'єру



Рисунок В.1 — Схема проходки траншеи экскаватором у скельному вибої



Рисунок В.2 — Кільцева схема під'їзду автотранспорту до екскаватора



Рисунок В.3 — Схема відпрацювання вибою поперечними заходками з кільцевим розворотом автотранспорту



Рисунок В.4 — Схема відпрацювання вибою поперечними заходками з кільцевим розворотом автотранспорту, варіант 2



Рисунок В.9 — Схема двостороннього зустрічного руху автотранспорту при тупиковому розвороті



Документ прийнятий

Метадані



ДОКУМЕНТ

Заголовок

184-10д-д

Науковий керівник / Експерт

Шмельцер К.О.

ІД документу

334158422



ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY



ЗВІТ

Дата звіту

6/3/2026

Дата редагування

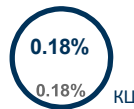
Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

30156



КЦ

244993

Заміна букв		41
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		33



Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ
1	https://dspace.mipolytech.edu/bitstreams/f59c01a2-a8e7-4544-9b1b-fd415bfd712b/download	19 (0.06 %)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Шапран Євгенія Романовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра ХТІ _____

Спеціальність 184 Гірництво _____

(шифр, назва)

Назва (кваліфікаційна бакалаврська робота) _____

**Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи «РОЗРОБКА ПЕТРІВСЬКОГО
РОДОВИЩА ЗАЛІЗНИХ РУД З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ВИДОБУВНИХ РОБІТ
У КАР'ЄРІ № 3 ПРАТ «ЦГЗК»»**

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи: проф., д.т.н. Темченко О.А.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу роботи	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	проф., д.т.н. Темченко О.	Зараховано	2.06.2026		
2	Основна частина	проф., д.т.н. Темченко О.	Зараховано	2.06.2026		
3	Екологічні аспекти, охорона праці та цивільний захист	проф., д.т.н. Темченко О.	Зараховано	2.06.2026		

Завідувач кафедри
ХТІ _____

(підпис)

(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра хімічних технологій та інженерії

**ВІДГУК КЕРІВНИКА
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ**

Здобувача

Шапран Євгенія Романовича

(прізвище, ім'я та по батькові)

Групи ГР-23ск

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: *«Розробка Петрівського родовища залізних руд з оптимізацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК»»*

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	173 стор.;
таблиць	20 табл.;
схем і рисунків	14 рис.;
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	–

Якісні відмінності кваліфікаційної бакалаврської роботи.

Кваліфікаційна бакалаврська робота має інженерно-прикладний характер і орієнтована на вирішення конкретного виробничого завдання в межах кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК», розташованого в Криворізькому залізничному басейні. При проведенні дослідження використані реальні або типові для Кривбасу параметри: висота уступу; коефіцієнт розкриву; фізико-механічні властивості порід обраного родовища. У роботі виконані класичні розрахунки: параметрів уступу; коефіцієнта розкриву; щорічних об'ємів розкривних робіт; питомої витрати вибухових речовин у кар'єрі; визначення оптимальної ширини нормального і мінімального робочого майданчика; розрахунок кількості транспортування гірничої маси на рік. Наведено детерміновані та нормативні розрахунки прикладної оптимізації з вибором більш раціональної схеми відпрацювання уступів; варіантів скорочення обсягів транспортування пустих порід на основі використання геологічної інформації Петрівського залізничного родовища (спрощеної геологічної моделі; усереднених показників міцності порід; типових профілів родовища) та врахування впливу геології на потенційну раціональну структуру видобувних робіт у кар'єрі № 3 при подальшому здійсненні видобувних робіт. Дослідження базується на комплексному поєднанні: гірничо-геологічного аналізу умов родовища; інженерних розрахунків параметрів кар'єру № 3; порівняльного аналізу раціональних варіантів видобувних робіт на ПрАТ «ЦГЗК». Запропоновані рішення враховують основні особливості залягання рудних тіл у кар'єрі № 3, зокрема, здійснена оцінка впливу контактних зон та змінна міцність гірських порід, що впливає на вибір раціональної схеми видобутку залізної руди у кар'єрі при підвищенні ефективності використання технологічного устаткування на окремих переділах гірничо-збагачувального підприємства.

Недоліки кваліфікаційної бакалаврської роботи

У роботі прийнято наступні обмеження: використання усереднених показників властивостей гірських порід; відсутність складного 3D-моделювання кар'єру; обмежений обсяг економічного аналізу гірничого виробництва за 2022-2024 роки з урахуванням негативного впливу дії воєнного стану в Україні на діяльність гірничо-збагачувального підприємства; орієнтація на типові технологічні рішення. У роботі використано переважно класичні інженерні методи розрахунку технологічних параметрів. Відсутнє застосування сучасних підходів, таких як цифрові технології планування гірничих робіт. Геологічні умови родовища розглянуті дещо узагальнено, без детального аналізу неоднорідності порід і контактних зон. Вибір раціональної структури видобувних робіт на Петрівському родовищі ПрАТ «ЦГЗК», виконано шляхом порівняння обмеженої кількості потенційних варіантів гірничого виробництва без застосування математичних методів оптимізації. Недостатньо враховано вплив реальних виробничих факторів (простої техніки та технологічного устаткування, погодні умови, організація робіт у кар'єрі за складних умов господарювання та невизначеності на зовнішніх та внутрішніх ринках залізничної сировини). Також у роботі бажано було б розглянути сучасні технології контролю якості вибухових робіт (наприклад, цифровий аналіз фрагментації куска руди).

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної бакалаврської роботи, ступінь самостійності виконання

Здобувач самостійно виконав інженерний проєкт локальної оптимізації гірничого виробництва з достатнім ступенем обґрунтованості і потенційною можливістю практичного впровадження

рекомедацій та запропонованих технологічних і організаційно-управлінських рішень в умовах Петрівського родовища Кривбасу. Встановлено, що існуюча структура видобувних робіт потребує удосконалення у зв'язку зі збільшенням глибини кар'єру № 3, ростом транспортних плечей та необхідністю зниження експлуатаційних витрат. Аналіз технічних характеристик гірничого обладнання показав доцільність переходу до більш ефективних комплексів із підвищеною продуктивністю та енергоефективністю. Зазначено оптимальні параметри бурових свердловин, сітки буріння та питомої витрати вибухових речовин, що дозволяє забезпечити необхідний ступінь дроблення гірничої маси, зменшення виходу негабариту та підвищення ефективності роботи екскаваційного обладнання. У результаті виконаних розрахунків здійснено підбір екскаваційно-навантажувального та транспортного обладнання для умов кар'єру № 3 ПрАТ «ЦГЗК». Обґрунтовано доцільність використання високопродуктивних екскаваторів у поєднанні з великовантажними автосамоскидами, що забезпечують безперервність технологічного процесу та оптимізацію транспортних потоків. Запропонований склад обладнання дозволяє підвищити продуктивність гірничих робіт, скоротити простої техніки та забезпечити стабільне виконання планових показників видобутку залізної руди. На підставі проведеного аналізу та технічних розрахунків розроблено раціональну структуру видобувних робіт, яка враховує взаємозв'язок усіх основних виробничих процесів: буріння, вибухових робіт, навантаження, транспортування та відвалоутворення. Запропонована структура видобувних робіт характеризується високим рівнем узгодженості продуктивності окремих ланок технологічного комплексу, що дозволяє підвищити ефективність функціонування кар'єру № 3 загалом. Проведені розрахунки та технологічне обґрунтування свідчать, що запропоновані рішення можуть сприяти підвищенню організаційно-технологічної ефективності видобувних робіт, скороченню простоїв обладнання та раціоналізації транспортних потоків у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК». Отримані результати свідчать про економічну доцільність модернізації технологічної схеми розробки родовища та підтверджують ефективність запропонованих організаційно-управлінських рішень. Інформаційною основою самостійно проведених здобувачем у роботі інженерно-технологічних розрахунків становили: геологічні та технічні дані кар'єру № 3 у відповідності до фактичних показників щорічних звітів виконання виробничої програми підприємства; нормативні документи у галузі гірництва; наукові публікації у фахових журналах зі специфіки організації гірничого виробництва в залізородних кар'єрах в умовах сучасних викликів, монографіях та збірниках; довідкові матеріали щодо фізико-механічних властивостей гірських порід у Кривбасі.

Можливість використання кваліфікаційної бакалаврської роботи.

Основним принципом є адаптація типових методик до конкретних умов Петрівського родовища, що забезпечує практичну цінність отриманих результатів. Бакалаврська робота містить конкретні рекомендації для кар'єру № 3: зміна параметрів уступів; оптимізація транспортної схеми; зменшення витрат на розкривні роботи. До основних напрямів оптимізації гірничого виробництва належать удосконалення роботи екскаваторно-транспортного комплексу, раціональна організація комбінованої транспортної схеми, якісна буровибухова підготовка корисних копалин, скорочення простоїв технологічного обладнання, зменшення втрат і засмічення руди, ефективне відвалоутворення пустих порід, дотримання паспорта екскаваторного вибою, підвищення рівня безпеки праці та зменшення негативного впливу відкритої розробки на навколишнє середовище. Методичні основи дослідження базуються на поєднанні класичних інженерних методів із практичною орієнтацією на умови кар'єру. Це забезпечує потенційну можливість отримання обґрунтованих і реалізованих результатів, спрямованих на оптимізацію та підвищення ефективності видобувних робіт у кар'єрі № 3 у межах досліджуваного Петрівського родовища навіть в умовах прийняття підвищених екологічних вимог та збереження тенденцій невизначеності на зовнішніх ринках залізовмісткої продукції. Виконана робота відповідає вимогам до кваліфікаційних бакалаврських робіт за спеціальністю 184 «Гірництво», має практичну спрямованість і може бути використана для вдосконалення виймально-навантажувальних та транспортних робіт на гірничо-збагачувальному підприємстві в найближчій перспективі.

Оцінка кваліфікаційної бакалаврської роботи

Добре /В 80

Керівник

Темченко Олександр Анатолійович
(прізвище, ім'я та по батькові)

Професор, д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« 04 » 06 2026 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра хімічних технологій та інженерії

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу

Здобувача

Шапрана Євгенія Романовича

Групи ГР-23ск
Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Розробка Петрівського родовища залізних руд з оптимізацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК»»
Тема основної частини кваліфікаційної роботи «Розрахунок технологічних параметрів умовного кар'єру за прийнятими вихідними даними»
Переваги кваліфікаційної бакалаврської роботи
Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи є актуальною, оскільки питання підвищення ефективності відкритої розробки залізрудних родовищ мають важливе практичне значення для гірничодобувних підприємств Криворізького залізрудного басейну. Оптимізація видобувних робіт у кар'єрі пов'язана з раціональним використанням гірничого обладнання, удосконаленням буровибухових, виймально-навантажувальних і транспортних процесів, зменшенням простоїв техніки, підвищенням безпеки праці та зниженням негативного впливу відкритої розробки на навколишнє середовище. У роботі розглянуто сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі, проаналізовано основні технології видобутку й транспортування гірничої маси, а також наведено аналіз сучасних фахових джерел за темою дослідження. Позитивним є те, що здобувач не обмежився загальною характеристикою відкритої розробки, а пов'язав теоретичний матеріал із практичними питаннями розробки Петрівського родовища залізних руд та організацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК». У кваліфікаційній бакалаврській роботі виконано розрахунок основних технологічних параметрів умовного кар'єру. Визначено геометричні параметри кар'єру, обсяги корисної копалини і розкривних порід, балансові та промислові запаси, середній коефіцієнт розкриву, орієнтовний строк експлуатації кар'єру. Також обґрунтовано загальну організацію відкритих гірничих робіт, систему розробки, спосіб розкриття, параметри буровибухових робіт, вибір бурового, виймально-навантажувального і транспортного обладнання. Особливої уваги заслуговує використання у роботі виробничих матеріалів ПрАТ «ЦГЗК», зокрема матеріалів щодо системи розробки, транспортної схеми, відвального господарства та паспорта екскаваторного вибою. Наявність у роботі геологічного розрізу, плану кар'єру, фрагментів паспорта екскаваторного вибою і схем організації роботи екскаватора дозволяє краще розкрити практичну спрямованість дослідження та показати зв'язок розрахункової частини з реальними умовами відкритої розробки родовища. Позитивним є комплексний підхід до розгляду основних технологічних процесів відкритих гірничих робіт. У роботі послідовно розглянуто буровибухову підготовку гірських порід, виймально-навантажувальні роботи, транспортування гірничої маси, відвалоутворення розкривних порід і рекультивацію порушених земель. Це дає змогу оцінити взаємозв'язок основних виробничих процесів і визначити напрями їх удосконалення. У третьому розділі роботи розглянуто екологічні аспекти, питання охорони праці, протиаварійного захисту, пожежної безпеки та цивільного захисту. Доцільним є врахування вимог безпеки під час роботи екскаватора у скельному вибої, а також аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, пов'язаних із відкритими гірничими роботами. Запропоновані заходи мають практичне значення для забезпечення безпечної експлуатації гірничого обладнання та зниження виробничих ризиків.
Недоліки кваліфікаційної бакалаврської роботи
Разом з тим кваліфікаційна бакалаврська робота має окремі недоліки. У роботі використано переважно класичні інженерні методи розрахунку технологічних параметрів, тоді як сучасні цифрові методи планування та моделювання відкритих гірничих робіт розглянуто

переважно на аналітичному рівні. Було б доцільно ширше застосувати цифрове моделювання кар'єрного простору, гірничих робіт або транспортних потоків. Економічний аналіз запропонованих технологічних рішень має обмежений характер. У роботі розглянуто технічні та організаційні напрями оптимізації видобувних робіт, однак детальні розрахунки економічного ефекту від впровадження запропонованих рішень не наведено. Також геологічні умови Петрівського родовища подано узагальнено, без поглибленого аналізу неоднорідності порід, контактних зон і впливу цих факторів на зміну параметрів буровибухових та виймально-навантажувальних робіт. Окремі виробничі матеріали, використані в роботі, мають обмежену актуальність за часом, що пояснюється складністю отримання повної проєктної та фактичної інформації щодо роботи кар'єру. У подальших дослідженнях бажано було б розширити фактичну базу даних за останні роки, зокрема щодо виконання виробничої програми, роботи екскаваторно-транспортного комплексу, простоїв обладнання, витрат на транспортування і показників відвалоутворення.

Рекомендації

Незважаючи на зазначені недоліки, кваліфікаційна бакалаврська робота відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт за спеціальністю 184 «Гірництво», має інженерно-прикладну спрямованість і безпосередньо пов'язана зі специфікою відкритої розробки Петрівського родовища залізних руд, що експлуатується кар'єром № 3 ПрАТ «ЦГЗК». Результати роботи можуть бути використані як навчально-розрахункова та аналітична основа для оцінювання окремих елементів технологічної схеми відкритої розробки родовища, зокрема буровибухових, виймально-навантажувальних, транспортних і відвальних робіт. Практичне значення роботи полягає в тому, що в ній розглянуто взаємозв'язок основних виробничих процесів кар'єру та визначено напрями їх удосконалення з урахуванням гірничо-технічних умов Петрівського родовища. До найбільш важливих напрямів подальшого використання результатів роботи можна віднести раціоналізацію роботи екскаваторно-транспортного комплексу, удосконалення організації буровибухової підготовки скельних порід, скорочення простоїв гірничого обладнання, підвищення ефективності транспортування гірничої маси, раціональне формування відвалів розкривних порід, дотримання вимог паспорта екскаваторного вибою, а також підвищення рівня безпеки праці та зменшення негативного впливу відкритої розробки на навколишнє середовище. Кваліфікаційна бакалаврська робота має завершений характер, відповідає поставленій меті та завданням дослідження, може бути допущена до захисту в екзаменаційній комісії, а її автор заслуговує на позитивну оцінку.

Рецензент, Проректор з наукової діяльності, Чупринов Є.М.

(прізвище, ім'я та по батькові)

к.т.е., доц. 5.06.2026

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Д О В І Д К А

про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- ☒ кваліфікаційної роботи;
☐ навчальної/наукової праці;
☐ наукових матеріалів

Розробка Петрівського родовища залізних руд з оптимізацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК»

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Шапран Євгеній Романович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 173 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrikePlagiarism».

Коефіцієнт подібності КП 1 становить 1,71 %, КЦ — 0,18 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- ☐ власними публікаціями;
☒ термінологією;
☒ посиланнями на літературу, праці вчених;
☐ посиланнями на законодавство;
☒ загальноживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК

(подальшого розгляду,

друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «12» червня 2026 р. протокол № 16.

Керівник підрозділу

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «12» червня 2026 р.

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Шапран Євгеній Романович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Розробка Петрівського родовища залізних руд з оптимізацією видобувних робіт у кар'єрі № 3 ПрАТ «ЦГЗК»») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений з умовами такого розміщення.

12.06.2026

**Декларація про дотримання академічної доброчесності
під час написання кваліфікаційної бакалаврської роботи
здобувачем вищої освіти Державного університету економіки і технологій**

Я, Шапран Євген Романович, здобувач III курсу, групи ГР-23ск Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

02.06.2026