

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет	Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра	Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність	184 Гірництво
Форма навчання	денна

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Кулаков Костянтин Андрійович

на тему Оцінка ефективності використання великовантажних
автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК»

за матеріалами ПрАТ «ІНЗК»

науковий	PhD		Тіхлівець С.В.
керівник		(підпис)	

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри від 12.06.2026 р. №16

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

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

Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 184 Гірництво
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

(підпис) доцент, к.т.н.
Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання, прізвище, ініціали)
«____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кулаков Костянтин Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Оцінка ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК»
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Тіхлівець Сергій Вадимович, PhD, _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу №229-ст від «6» квітня 2026 р.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра науково-технічна література та звіти підприємства діяльності ПрАТ «ІнГЗК». Показники продуктивності гірничотранспортного обладнання
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - 4.1 Аналітична частина: Сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі. Характеристика технологій видобутку та транспортування гірничої маси. Сучасний стан відкритого видобутку у світі. Геологічна будова обраного родовища корисних копалин. Фізико-механічні властивості гірських порід. Гідрогеологічні та кліматичні умови розробки родовища. Гірничо-технічна характеристика (запаси, потужність рудних тіл).
 - 4.2 Основна частина: Розрахунок технологічних параметрів умовного кар'єру ПрАТ «ІнГЗК»
 - 4.3 Екологічні аспекти та охорона праці
5. Висновки та рекомендації
Завданням графічний матеріал не передбачений
6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Тіхлівець С.В., PhD		
2 Основна частина	Тіхлівець С.В., PhD		

7. Дата видачі завдання «6» квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.2026	
2.	Основна частина	26.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2026	
4.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.2026	

Здобувач

(підпис)

Кулаков К.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Тіхлівець С.В.
(прізвище та ініціали)

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

[illegible]

					ННТІ. 184 КРБ				
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Відомість кваліфікаційної бакалаврської роботи	Літ.		Лист	Листів
Розробив	Кулаков К.О.					КРМ	Т	1	1
Керівник	Тихлівець С.В.					ННТІ ДЧЕТ Каф. ХТІ гр.ГР-23ск			
Консульт.	Тихлівець С.В.								
Н.контр.	Темченко О.А.								
Затв.	Шмельцер К.О.								

АНОТАЦІЯ

Кулаков К.А. Оцінка ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК». – Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 184 «Гірництво». Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2026.

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена дослідженню та розрахунку технологічних параметрів кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» при відкритій розробці родовищ корисних копалин. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності відкритих гірничих робіт та зниження собівартості видобутку згідно з вимогами цілей сталого розвитку України до 2030 року.

Мета роботи. Головною метою бакалаврської роботи є оцінка поточного рівня ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» та обґрунтування заходів щодо її підвищення.

Об'єктом розробки є безпосередньо процес експлуатації парку великовантажних автосамоскидів у гірничо-технічних умовах кар'єру ПрАТ «ІнГЗК».

В аналітичній частині розглянуто сучасний стан відкритих гірничих робіт, охарактеризовано основні технології видобутку та транспортування гірничої маси. Наведено геологічну будову обраного родовища, фізико-механічні властивості гірських порід та гірничо-технічні показники кар'єру.

В основній частині виконано розрахунок технологічних параметрів кар'єру. Обґрунтовано доцільність експлуатації потужніших екскаваторів та великотоннажних автосамоскидів Komatsu 730E-10 (замість БЕЛАЗ-75131), що дозволяє оптимізувати кількість задіяної техніки. Розглянуто питання відвалоутворення та наведено підходи до рекультивації.

У висновках узагальнено результати дослідження та наведено рекомендації щодо підвищення ефективності відкритих гірничих робіт на вітчизняних підприємствах в умовах сьогодення.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, кар'єр, гірнича маса, технологія видобутку, транспорт, рекультивація, охорона праці.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі.....	9
1.2 Характеристика технологій видобутку та транспортування гірничої маси..	10
1.3 Сучасний стан відкритого видобутку у світі.....	11
1.3.1 Країни-лідери (США, Китай, Австралія, Канада тощо).....	11
1.3.2 Основні види корисних копалин, обсяги видобутку та тенденції.....	13
1.3.3 Використання високопродуктивної техніки як відповідь на виклики.....	13
1.4. Інформація про гірничодобувне підприємство ПрАТ «ІнГЗК».....	15
1.4.1 Стисла характеристика споживачів сировини.....	15
1.4.2 Обґрунтування доцільності розробки родовища відкритим способом.....	15
1.4.3 Межі кар'єрного поля, гірничий та земельний відвід.....	16
1.4.4 Виробнича потужність та календарний режим роботи кар'єру.....	16
1.4.5 Продуктивність кар'єру (розрахункові базові показники).....	17
1.4.6 Рентабельність гірничого виробництва.....	17
1.5. Геологічна будова обраного родовища корисних копалин.....	18
1.6 Фізико-механічні властивості гірських порід.....	19
1.7. Гідрогеологічні та кліматичні умови розробки родовища.....	20
1.7.1 Кліматичні умови.....	20
1.7.2 Гідрогеологічні умови.....	21
1.8. Гірничо-технічна характеристика (запаси, потужність рудних тіл).....	22
1.8.1 Запаси корисних копалин.....	22
1.8.2 Потужність та морфологія рудних тіл.....	23
1.8.3 Вплив гірничо-технічних умов на вибір обладнання.....	23
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА: Розрахунок технологічних параметрів кар'єру	
ПрАТ «ІнГЗК».....	25
2.1 Загальна організація відкритих гірничих робіт.....	25
2.2 Розкриття та система розробки родовища.....	28
2.2.1 Розкриття родовища.....	28
2.2.2 Система розробки родовища.....	32
2.3 Підготовка гірських порід до виймання.....	35
2.3.1 Розрахунок параметрів підривних робіт.....	36

2.3.2 Визначення необхідної кількості бурового устаткування.....	41
2.3.3 Визначення необхідної кількості засобів механізації заряджання, забійки та штату працівників.....	42
2.4 Виймально-навантажувальні роботи.....	44
2.5 Транспортування кар'єрних вантажів.....	47
2.5.1 Транспортування гірничої маси залізничним транспортом.....	47
2.5.2 Розрахунок кількості залізничного транспорту.....	48
2.5.3 Розрахунок пропускної та провізної здатності залізничної колії.....	52
2.5.4 Транспортування гірничої маси автомобільним транспортом.....	53
2.5.5 Характеристика порівнювальних варіантів.....	54
2.5.6 Визначення кількості автосамоскидів.....	55
2.5.7 Пропускна та провізна здатність автодоріг.....	59
2.6 Відвалоутворення розкривних порід.....	59
2.6.1 Розрахунок параметрів екскаваторного відвалоутворення.....	60
2.7 Рекультивація земель, порушених гірничими роботами.....	63
3 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	67
3.1 Основні екологічні проблеми при відкритій розробці родовища корисних копалин.....	67
3.2 Технологічні заходи з охорони навколишнього середовища.....	68
3.3 Система протиаварійного захисту і безпека праці на кар'єрі.....	69
3.4 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на відкритих гірничих роботах...	71
3.5 Технічні та організаційні заходи безпеки.....	72
3.6 Пожежна безпека і заходи цивільного захисту.....	73
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	75
Список використаних джерел.....	76

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку гірничодобувної промисловості України, зокрема видобутку залізних руд відкритим способом, характеризується постійним погіршенням гірничо-геологічних умов. Кар'єр ПрАТ «ІнГЗК» (Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат) є одним з найглибших в Україні. Зі збільшенням глибини гірничих робіт та пониженням робочих горизонтів неухильно зростає відстань транспортування гірничої маси. У загальній структурі собівартості видобутку корисної копалини на глибоких кар'єрах витрати на транспортування можуть сягати 50–60%. Головним видом транспорту в кар'єрі ІнГЗК залишається автомобільний, який представлений великовантажними автосамоскидами. Експлуатація такої техніки супроводжується значними витратами на дизельне паливо, великогабаритні шини та технічне обслуговування. Тому детальне вивчення показників їхньої роботи, виявлення причин простоїв та пошук інженерних рішень для підвищення ефективності використання автопарку є вкрай актуальним завданням, яке безпосередньо впливає на рентабельність всього підприємства.

Предметна сфера розробки. Предметна сфера охоплює процеси відкритої розробки родовищ корисних копалин, а саме — технологію та організацію внутрішньокар'єрного автомобільного транспорту. Специфіка цієї сфери полягає в роботі техніки у важких умовах: подолання затяжних підйомів, рух по тимчасових технологічних дорогах та необхідність чіткої синхронізації з виймально-вантажним обладнанням.

Об'єктом розробки є безпосередньо процес експлуатації парку великовантажних автосамоскидів у гірничо-технічних умовах кар'єру ПрАТ «ІнГЗК».

Мета і задачі розробки. Головною метою бакалаврської роботи є оцінка поточного рівня ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» та обґрунтування заходів щодо її підвищення.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- проаналізувати існуючу схему транспортування гірничої маси в кар'єрі;
- дослідити поточні техніко-експлуатаційні показники роботи парку автосамоскидів;
- визначити основні фактори, що знижують продуктивність техніки;
- запропонувати заходи для оптимізації роботи транспорту та зниження собівартості перевезень.

Методи розробки. У пояснювальній записці використано комплексний інженерний підхід. Для збору та обробки вихідної інформації застосовувалися методи аналізу науково-технічної літератури та звітів підприємства. Оцінка ефективності базується на методах гірничої статистики, а також на аналітичних і розрахункових методах визначення продуктивності гірничотранспортного обладнання.

Матеріали, які відображено в пояснювальній записці. Пояснювальна записка бакалаврської роботи логічно структурована і включає вступ, основні розділи, висновки та список використаної літератури.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі

Відкритий спосіб видобутку корисних копалин історично залишається домінуючим у світовій гірничодобувній промисловості. На нього припадає понад 70% усього світового обсягу видобутку твердих корисних копалин. Головними перевагами відкритого способу є висока продуктивність праці, відносна безпека ведення гірничих робіт та можливість застосування потужного великогабаритного обладнання. Проте сучасний етап розвитку відкритих гірничих робіт у світі характеризується стійкою тенденцією до погіршення гірничо-геологічних умов. Відбувається постійне зниження вмісту корисного компонента в руді, а глибина кар'єрів невинно зростає, сягаючи на окремих родовищах 600–800 метрів. Це змушує провідні гірничі компанії світу (в Австралії, Північній та Південній Америці) переходити на використання кар'єрних самоскидів ультра-великого класу вантажопідйомності (від 220 до 360 тонн і більше), впроваджувати цифрові системи диспетчеризації та навіть повністю автономний (безпілотний) транспорт для зниження експлуатаційних витрат [1].

В Україні відкритим способом видобувається переважна більшість залізних руд, флюсових вапняків та гранітів. Основою залізорудної бази держави є Криворізький залізорудний басейн (Кривбас), де зосереджені найбільші вітчизняні гірничо-збагачувальні комбінати, серед яких і ПрАТ «ІнГЗК». Стан відкритих гірничих робіт в Україні загалом відображає світові тенденції, але має свої специфічні технологічні ускладнення. Більшість великих українських залізорудних кар'єрів знаходяться в експлуатації вже понад 50-60 років. Їхня глибина на сьогодні перетнула позначку в 300–400 метрів (зокрема, глибина кар'єру ІнГЗК становить понад 400 метрів), що впевнено відносить їх до категорії глибоких [1].

Зі збільшенням глибини кар'єрів в Україні різко зростають обсяги розкривних робіт та відстань транспортування гірничої маси на поверхню. Робоча зона на нижніх горизонтах звужується, що ускладнює розміщення

транспортних комунікацій та розворотних майданчиків для техніки. У таких умовах головним "вузьким місцем" підприємства стає транспортна система. На сьогодні саме автомобільний транспорт виконує понад 75-80% усіх перевезень у вітчизняних кар'єрах, особливо на ділянках від вибою до внутрішньокар'єрних перевантажувальних пунктів або дробарок.

В умовах зтяжних підйомів, ухил яких часто становить 8-10%, та збільшення плеча відкатки до 3–5 кілометрів, витрати на транспортування стають критичним фактором для економіки підприємства. Крім того, на стан вітчизняної галузі суттєво впливають сучасні економічні реалії: зростання вартості енергоносіїв та складна логістика постачання імпортованих запчастин. Це вимагає від українських ГЗК режиму жорсткої економії ресурсів: дизельного палива, дорогих великогабаритних шин та мастильних матеріалів.

Таким чином, сучасний стан відкритих гірничих робіт диктує необхідність переходу від екстенсивного розвитку (простого збільшення кількості самоскидів) до інтенсивного. На перший план виходить завдання глибокого аналізу та інженерної оптимізації роботи існуючого автопарку: вибір раціональних схем руху, боротьба з простоями під навантаженням та забезпечення максимального коефіцієнта технічної готовності машин в умовах глибокого кар'єру.

1.2 Характеристика технологій видобутку та транспортування гірничої маси

Технологічний цикл відкритого видобутку залізних руд на глибоких кар'єрах, таких як ПрАТ «ІнГЗК», складається з чітко регламентованих процесів: буровибухової підготовки, виймання гірської маси, її транспортування та розвантаження. В умовах міцних скельних порід першочерговим завданням є якісне дроблення руди масовими вибухами. Виймально-навантажувальні роботи на підприємстві традиційно виконуються електричними канатними екскаваторами (переважно типу ЕКГ-10). Головна мета на цій стадії — забезпечити безперервне черпання та мінімізувати простой обладнання під час очікування транспорту.

Транспортування є найбільш енергоємною та витратною ланкою відкритої розробки. Із заглибленням кар'єру (поточна глибина понад 400 м) застосування виключно залізничного транспорту стає технічно неможливим через малі радіуси траншей та круті ухили. Тому безальтернативним рішенням для роботи на нижніх горизонтах є великовантажні автосамоскиди. Вони відзначаються високою маневреністю та здатністю долати затяжні підйоми (8–10%). Однак постійне збільшення плеча відкатки призводить до різкого зростання експлуатаційних витрат, зокрема на дизельне паливо та великогабаритні шини.

Щоб знизити собівартість перевезень, на глибоких кар'єрах застосовують комбіновані транспортні схеми: автомобільно-залізничну або циклічно-потокową технологію (ЦПТ). За таких умов автосамоскиди виконують роль "збірної" ланки — вони працюють на відносно коротких відстанях (1,5–3 км), доставляючи гірську масу з вибою до внутрішньокар'єрних перевантажувальних пунктів або до напівстаціонарних дробарок. Далі транспортування на поверхню здійснюється більш дешевими конвеєрами або залізницею.

Таким чином, ефективність усієї технології видобутку критично залежить від ідеальної синхронізації комплексу «екскаватор – самоскид», чіткої відповідності кузова до місткості ковша та підтримання високої якості технологічних автодоріг у кар'єрі.

1.3 Сучасний стан відкритого видобутку у світі

1.3.1 Країни-лідери (США, Китай, Австралія, Канада тощо)

Світова гірничодобувна промисловість сьогодні перебуває на етапі глибокої технологічної трансформації. Відкритий спосіб розробки родовищ залишається безальтернативним лідером, забезпечуючи видобуток понад 75% твердих корисних копалин у світі. Аналіз сучасних фахових джерел показує, що глобальна економіка вимагає постійного збільшення обсягів мінеральної сировини, що змушує гірничі підприємства освоювати все складніші родовища [2].

Безумовними лідерами за обсягами відкритого видобутку у світі є Австралія, Китай, США та Канада. Кожна з цих країн має свою специфіку ведення гірничих робіт, що визначає глобальні тренди [3]:

- Австралія є світовим еталоном в інноваціях на залізорудних та вугільних кар'єрах (зокрема, в регіоні Пілбара). Австралійські компанії (наприклад, BHP, Rio Tinto) першими у світі масово перейшли на використання повністю автономних (безпілотних) автосамоскидів та дистанційне керування видобувними комплексами з центрів, розташованих за тисячі кілометрів від кар'єрів. Їхній головний фокус — максимальне зниження операційних витрат через автоматизацію [4].

- Китай демонструє найвищі темпи зростання обсягів виймання гірської маси, будучи лідером з видобутку вугілля, залізної руди та рідкісноземельних металів. Сучасна тенденція розвитку відкритих робіт у Китаї полягає у відході від великої кількості дрібних кар'єрів на користь гігантських високомеханізованих розрізів, де впроваджуються жорсткі екологічні стандарти та масштабно використовується електрифікований транспорт [5].

- США мають надзвичайно розвинену школу відкритої розробки, особливо у видобутку міді, золота та вугілля. Американські кар'єри (такі як Бінгем-Каньйон) є одними з найглибших у світі. Технологічний акцент тут робиться на максимізацію надійності обладнання, оптимізацію кутів укошу бортів кар'єру для зменшення обсягів розкриву та використання надпотужних виймально-вантажних комплексів [5].

- Канада спеціалізується на видобутку в екстремальних кліматичних умовах (нафтові піски, алмази, залізні руди півночі). Головна тенденція канадських підприємств — створення безвідходних технологій та використання техніки, здатної працювати при наднизьких температурах без втрати продуктивності [4].

1.3.2 Основні види корисних копалин, обсяги видобутку та тенденції

Основний обсяг світового відкритого видобутку формують так звані "навалочні" вантажі: енергетичне та коксівне вугілля, залізні руди, мідні та золотоносні руди, а також боксити. Щорічно у світі відкритим способом переміщуються десятки мільярдів тонн гірської маси [6].

Аналізуючи наукові публікації останніх років, можна виділити кілька ключових проблем і тенденцій, які безпосередньо впливають на технологію робіт:

Постійне зниження вмісту корисного компонента. Багаті руди, що залягали близько до поверхні, у світі практично вичерпані. Щоб отримати ту саму кількість кінцевого продукту (наприклад, концентрату), необхідно видобути і переробити значно більше сирової руди.

Зростання коефіцієнта розкриття. Залучення до експлуатації глибших покладів означає, що для доступу до руди потрібно вилучати все більші обсяги порожніх (розкритих) порід.

Поглиблення кар'єрів та ускладнення логістики. Середня глибина великих кар'єрів у світі наближається до 500-600 метрів. Це призводить до стрімкого збільшення відстані транспортування (плеча відкатки) гірської маси та висоти її підйому. Відповідно, саме транспортні витрати стають найважчим тягарем для бюджету гірничих підприємств, складаючи до 60% загальної собівартості видобутку [7].

1.3.3 Використання високопродуктивної техніки як відповідь на виклики

Щоб компенсувати погіршення гірничо-геологічних умов (більше розкриття, довші маршрути), світова практика йде шляхом концентрації гірничих робіт та збільшення одиничної потужності обладнання на всіх етапах технологічного циклу [8].

1. Буровибухові роботи. Сучасні тенденції доводять, що економія на буровибухових роботах призводить до колосальних збитків на етапах екскавації та транспортування. Для забезпечення ідеального дроблення скельних порід світові лідери переходять на високоточні бурові верстати з автоматизованими

системами управління. Замість застарілих моделей впроваджуються потужні установки (наприклад, класу Epiroc Pit Viper 271 або Sandvik Leopard DI650i). Вони дозволяють бурити свердловини з високою точністю сітки, що гарантує рівномірний розвал гірської маси без негабаритів. Це різко скорочує час завантаження ковша екскаватора і знижує ударні навантаження на підвіску самоскидів, продовжуючи ресурс дороговартісних великогабаритних шин [9].

2. Виймально-вантажні роботи. Відбувається масштабна модернізація парку екскаваторів. Якщо на пострадянському просторі основою залишаються надійні, але морально застарілі механічні лопати канатного типу (на зразок ЕКГ-8І, ЕКГ-10), то світовим трендом є перехід на надпотужні гідравлічні екскаватори зворотної та прямої лопати (наприклад, Komatsu, Caterpillar, Hitachi) з місткістю ковша 15–30 кубічних метрів і більше. Гідравлічні екскаватори забезпечують вище зусилля копання та більшу мобільність у вибої. Разом з тим, на вітчизняних підприємствах, таких як ІнГЗК, актуальною проблемою залишається оптимізація роботи існуючих екскаваторів ЕКГ шляхом їх глибокої модернізації (заміна електроприводів, встановлення систем позиціонування).

3. Транспортування гірської маси. Це найвразливіша ланка сучасного глибокого кар'єру. Глобальним трендом є перехід на автосамоскиди ультра-великого класу вантажопідйомності — від 220–240 тонн до 300–400 тонн (моделі Caterpillar серії 797, Komatsu 930Е тощо). Використання таких машин суттєво знижує питому витрату палива на 1 т-км перевезеної породи та зменшує кількість техніки на дорогах. Перевага віддається машинам з електричною трансмісією змінного струму, які показують кращу динаміку на затяжних підйомах та дозволяють застосовувати ефективне електродинамічне гальмування при русі вниз з вантажем [9].

Однак, для кар'єрів, що вже досягли значної глибини (як ІнГЗК), прямий перехід на 240-тонні самоскиди часто обмежений геометрією робочої зони: вузькими бермами, крутими радіусами поворотів та відсутністю широких майданчиків для маневрування. Тому для багатьох підприємств оптимальним вибором залишається клас 130–150 тонн. У цьому випадку підвищення

ефективності досягається не за рахунок нарощування розмірів машин, а завдяки цифровізації: впровадженню автоматизованих систем диспетчеризації (АСУ ГТК). Ці системи в режимі реального часу відстежують місцезнаходження кожного самоскида і направляють його до того екскаватора, де немає черги, ліквідуючи простої під навантаженням та оптимізуючи загальний цикл транспортування [10].

Таким чином, аналіз світових тенденцій свідчить, що вирішення проблеми ефективного транспортування гірської маси в глибоких кар'єрах лежить у площині комплексного підходу: від ідеальної підготовки вибою сучасними буровими верстатами до жорсткої синхронізації роботи системи «екскаватор – автосамоскид» [11].

1.4. Інформація про гірничодобувне підприємство ПрАТ «ІнГЗК»

1.4.1 Стисла характеристика споживачів сировини

Приватне акціонерне товариство «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» (ПрАТ «ІнГЗК») спеціалізується на видобутку та збагаченні залізистих кварцитів Інгулецького родовища з отриманням високоякісного залізорудного концентрату. Головними споживачами готової продукції є вітчизняні металургійні підприємства (зокрема, металургійні комбінати «Запоріжсталь», «Камет-Сталь»), а також металургійні заводи країн Східної та Центральної Європи. Сировина ІнГЗК цінується за стабільний хімічний склад, що є критично важливим для доменного виробництва чавуну.

1.4.2 Обґрунтування доцільності розробки родовища відкритим способом

Рішення про відпрацювання Інгулецького родовища відкритим способом (кар'єром) історично зумовлене гірничо-геологічними умовами залягання корисних копалин. Родовище характеризується масивними рудними тілами великої потужності, які виходили під наноси на невеликій глибині. Незважаючи на те, що сьогодні кар'єр досяг значної глибини (понад 400 м), відкритий спосіб залишається єдиним економічно доцільним і технічно можливим методом, який забезпечує:

- високу виробничу потужність підприємства;
- максимальну повноту вилучення запасів корисних копалин із надр (мінімальні втрати руди);
- високий рівень механізації гірничих робіт із застосуванням потужного великогабаритного обладнання;
- більш безпечні санітарно-гігієнічні умови праці робітників порівняно з підземним видобутком.

1.4.3 Межі кар'єрного поля, гірничий та земельний відвід

Кар'єрне поле ІнГЗК розташоване у південній частині Криворізького залізорудного басейну. Межі кар'єрного поля на поверхні та в глибину встановлені технічним проектом на основі контурів промислових запасів руди та граничного коефіцієнта розкриву. Проведення гірничих робіт здійснюється в межах оформленого гірничого відводу — частини надр, наданої комбінату для промислової розробки родовища. Для розміщення самого кар'єру, зовнішніх відвалів розкривних порід, хвостосховища, промислових майданчиків та транспортних комунікацій підприємству надано земельний відвід. Його площа становить кілька тисяч гектарів, що закріплено відповідними державними актами на право постійного користування землею.

1.4.4 Виробнича потужність та календарний режим роботи кар'єру

ПрАТ «ІнГЗК» є одним з найпотужніших гірничодобувних підприємств України. Проектна виробнича потужність кар'єру становить понад 30 млн тонн сирової залізної руди на рік. Враховуючи високу капіталомісткість виробництва та необхідність безперебійного постачання руди на збагачувальну фабрику, кар'єр працює за безперервним робочим графіком.

Загальна організація робіт має наступні параметри:

- Розрахункова кількість робочих днів на рік: 365 днів (робота ведеться без вихідних і святкових днів).
- Кількість робочих змін на добу: 2 зміни.

- Тривалість однієї робочої зміни: 12 годин (зазвичай з 07:00 до 19:00 та з 19:00 до 07:00).

Такий графік (день-ніч-48 годин відпочинку) є класичним для працівників гірничотранспортного комплексу (водіїв автосамоскидів, машиністів екскаваторів та бурових верстатів) і забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю техніки та відпочинком персоналу.

1.4.5 Продуктивність кар'єру (розрахункові базові показники)

Для забезпечення розрахункового техніко-економічного аналізу в роботі прийняті наступні усереднені показники продуктивності гірничотранспортного комплексу підприємства.

По корисній копалині (руді): 34 000 000 тонн/рік.

По розкритих породах: Для доступу до руди підприємство щорічно переміщує великі обсяги порожніх порід (скельний розкрит). Розрахунковий річний обсяг виймання розкритих порід на рівні 25,5 млн кубічних метрів, що у ваговому еквіваленті (при середній густині скельних порід 2,6 т/м³) становить близько 66,3 млн тонн.

Загалом підприємство щодобово переміщує понад 260 тисяч тонн гірської маси, лівова частка транспортування якої на нижніх горизонтах припадає саме на великовантажні автосамоскиди.

1.4.6 Рентабельність гірничого виробництва

Рентабельність роботи ПрАТ «ІнГЗК» прямо залежить від кон'юнктури світових цін на залізорудну сировину (зокрема, індексу Platts 62% F_e) та внутрішніх операційних витрат підприємства. В умовах глибокого кар'єру ключовим фактором, що негативно впливає на рентабельність, є постійне зростання собівартості транспортування гірської маси. Із заглибленням гірничих робіт збільшується відстань відкатки і висота підйому, що призводить до прямого зростання витрат на дизельне паливо, технічне обслуговування автопарку та заміну великогабаритних шин. Тому утримання високої рентабельності виробництва сьогодні можливе виключно за рахунок жорсткої

економії ресурсів та впровадження інженерних рішень щодо оптимізації роботи великовантажних автосамоскидів, що і є основним предметом даного дослідження.

1.5. Геологічна будова обраного родовища корисних копалин

Інгулецьке родовище залізистих кварцитів, яке розробляється кар'єром ПрАТ «ІнГЗК», розташоване в південній частині Криворізького залізорудного басейну. У структурно-тектонічному відношенні родовище приурочене до південного замикання складної складчастої структури — Інгулецької синкліналі. Це визначає складну конфігурацію рудних тіл та круті кути їх падіння (в середньому від 45° до 70°), що безпосередньо впливає на геометрію робочої зони кар'єру та крутизну його бортів.

У геологічній будові родовища беруть участь породи докембрійського віку (кристалічний фундамент), які зверху перекриті осадовим чохлам кайнозойських відкладів.

Літологічний склад порід:

- **Осадовий чохол (пухкі розкривні породи):** представлений суглинками, глинами, пісками та вапняками. Потужність цих відкладів коливається від кількох метрів до 20–30 метрів. Ці породи розробляються без попереднього розпушення або з мінімальним застосуванням вибухових робіт, проте в дощові періоди вони створюють значні проблеми для автомобільного транспорту через розмокання та зниження зчеплення коліс з дорогою.
- **Скельні розкривні породи:** представлені переважно різноманітними сланцями (кварц-хлоритовими, амфіболовими) та безрудними кварцитами. Вони є вміщуючими породами для рудного тіла і характеризуються високою міцністю.
- **Корисна копалина:** неокиснені залізисті кварцити (переважно магнетитові та силікатно-магнетитові). Вони утворюють потужні рудні поклади, які простягаються на кілька кілометрів. Середній вміст загального заліза в руді

становить близько 31–33%, що робить її економічно вигідною для збагачення з подальшим отриманням концентрату.

1.6 Фізико-механічні властивості гірських порід

Для теми даної бакалаврської роботи — оцінки ефективності використання великовантажних автосамоскидів — ключове значення має не стільки хімічний склад, скільки фізико-механічні властивості гірської маси, яку доводиться транспортувати:

1. **Міцність та буримість.** Залізисті кварцити та скельні сланці Інгулецького родовища належать до категорії дуже міцних порід. Коефіцієнт їх міцності за шкалою проф. М.М. Протод'яконова становить $f = 12\text{--}16$, а подекуди сягає 18. Відпрацювання таких порід неможливе без інтенсивного застосування масових вибухів.
2. **Тріщинуватість та блочність.** Породи масиву мають природну тріщинуватість. Від того, наскільки якісно енергія вибуху зруйнує природні блоки, залежить гранулометричний склад розвалу. Наявність великої кількості негабаритів (великих шматків руди) ускладнює черпання і призводить до сильних динамічних ударів по днищу кузова та підвісці автосамоскида під час завантаження екскаватором.
3. **Висока густина (об'ємна маса).** Залізисті кварцити є дуже важкою породою. Їхня густина в цілику становить $3,2\text{--}3,4 \text{ т/м}^3$, а у розпушеному стані (в кузові самоскида) — близько $2,3\text{--}2,4 \text{ т/м}^3$. Через таку високу питому вагу заповнення самоскида до його номінальної вантажопідйомності відбувається ще до того, як кузов буде заповнений "з гіркою". Це вимагає від машиніста екскаватора високої точності при навантаженні, щоб не допустити перевантаження техніки, яке може призвести до розриву шин або виходу з ладу гідроциліндрів підвіски.
4. **Абразивність.** Кварцити містять велику кількість вільного кварцу, що робить гірську масу надзвичайно абразивною (гострою та твердою). Гострі уламки породи на технологічних дорогах є головною причиною

передчасного виходу з ладу великогабаритних шин (КГШ) через порізи та проколи протектора.

Отже, геологічна будова Інгулецького родовища формує вкрай жорсткі умови для експлуатації гірничотransпортного обладнання. Висока міцність, значна густина та абразивність гірської маси вимагають від підприємства особливої уваги до якості підготовки вибоїв (буровибухових робіт) та підтримання належного стану кар'єрних автодоріг для забезпечення ефективної роботи парку автосамоскидів.

1.7. Гідрогеологічні та кліматичні умови розробки родовища

1.7.1 Кліматичні умови

Район розташування кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» (Криворізький басейн) характеризується помірно-континентальним кліматом зі спекотним, посушливим літом та відносно м'якою, але мінливою зимою.

Літній період відрізняється високими температурами. Температура повітря може сягати $+35...+38^{\circ}\text{C}$ у тіні, а на дні глибокого кар'єру, через відсутність природного провітрювання та нагрівання темних скельних порід, мікроклімат стає ще суворішим (до $+45^{\circ}\text{C}$). Для автосамоскидів це створює екстремальні умови:

1. **Перегрів великогабаритних шин (ВГШ).** Рух важко навантаженого самоскида розпеченою технологічною дорогою призводить до критичного зростання температури всередині шини. Це вимагає зниження швидкості руху або збільшення часу простоїв для охолодження, що прямо знижує експлуатаційну продуктивність.
2. **Запиленість.** Посушливе літо спричиняє інтенсивне пилоутворення на кар'єрних дорогах. Густий пил різко погіршує видимість (знижуючи безпечну швидкість руху), а також прискорює засмічення повітряних фільтрів потужних дизельних двигунів самоскидів, вимагаючи їх частішого обслуговування. Для боротьби з пилом підприємство змушене утримувати великий парк поливальних машин.

Перехідні (весна, осінь) та зимовий періоди супроводжуються опадами у вигляді дощів і снігу. Взимку температура може опускатися до -20°C , характерні часті переходи температури через нуль (відлиги). Для автомобільного транспорту це означає:

1. **Погіршення стану доріг.** Зволоження полотна кар'єрних доріг (особливо на верхніх горизонтах, де присутні глинисті розкривні породи) різко знижує коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою та збільшує опір коченню. Самоскиди починають буксувати, що призводить до перевитрати дизельного пального та підвищеного зносу трансмісії.
2. **Ожеледиця.** Вимагає постійної підсипки доріг щебенем для забезпечення безпеки руху та запобігання некерованому ковзанню самоскидів на затяжних спусках.

1.7.2 Гідрогеологічні умови

Інгулецьке родовище характеризується складними гідрогеологічними умовами. Оскільки кар'єр має значну глибину (понад 400 м), він працює як гігантська водозбірна воронка. У кар'єрний простір постійно надходять як підземні води (з розкритих водоносних горизонтів), так і поверхневі (атмосферні опади, талі води).

Для забезпечення нормального ведення гірничих робіт на комбінаті діє потужна система головного кар'єрного водовідливу, яка відкачує воду з дна кар'єру (зумпфа) на поверхню. Проте повністю уникнути впливу води на технологічний процес неможливо.

З інженерної точки зору обводненість вибоїв створює кілька серйозних проблем для ефективності автосамоскидів:

1. **Налипання і намерзання гірської маси.** При навантаженні обводненої руди (особливо з домішками глини) частина її міцно налипає на днище і борти кузова самоскида. У зимовий період ця волога маса намерзає, утворюючи міцну кірку. Внаслідок цього корисний об'єм кузова зменшується. Самоскид починає постійно возити «мертвий вантаж» (який може сягати 5–10 тонн), що критично знижує його корисне навантаження і

збільшує собівартість перевезень. Для вирішення цієї проблеми кузови сучасних самоскидів обігрівуються вихлопними газами, проте при високій вологості породи цього буває недостатньо і кузови доводиться періодично очищати механічно.

2. **Прихований знос шин.** Вода, що накопичується у вибоях та дрібних вибоїнах на дорогах, приховує під собою гострі уламки скельних порід. Водій не бачить перешкоди і наїжджає на неї, що часто призводить до фатальних пробойів протектора і втрати дороговартісної шини. Крім того, мокра гума прорізається гострим камінням набагато легше, ніж суха, що загалом знижує ресурс ходової частини.

Отже, кліматичні та гідрогеологічні фактори мають прямий, здебільшого негативний вплив на роботу автомобільного транспорту в кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК». Врахування цих умов є обов'язковим при розрахунку реальної продуктивності самоскидів та плануванні витрат на їх експлуатацію і ремонт.

1.8. Гірничо-технічна характеристика (запаси, потужність рудних тіл)

Інгулецьке родовище залізистих кварцитів належить до категорії унікальних за своїми масштабами та є однією з головних сировинних баз гірничо-металургійного комплексу України. Його гірничо-технічна характеристика визначається параметрами рудних покладів, які безпосередньо диктують вибір технології ведення робіт та типу гірничотранспортного обладнання.

1.8.1 Запаси корисних копалин

Родовище розробляється ПрАТ «ІнГЗК» з середини минулого століття, проте завдяки величезним початковим обсягам руди, підприємство має надійну перспективу роботи. Затверджені балансові (промислові) запаси неокиснених залізистих кварцитів, що підлягають видобутку відкритим способом у проєктних контурах кар'єру, оцінюються у понад 600–700 мільйонів тонн. Наявність таких колосальних запасів гарантує стабільну роботу комбінату з високою річною продуктивністю (близько 30 млн тонн сирової руди) ще на кілька десятиріч.

Це, у свою чергу, економічно обґрунтовує доцільність довгострокових капітальних інвестицій в оновлення парку потужної транспортної техніки.

1.8.2 Потужність та морфологія рудних тіл

На відміну від вугільних родовищ, де корисна копалина залягає відносно тонкими пластами, Інгулецьке родовище представлене масивними пластоподібними та лінзовидними рудними тілами. Головні гірничо-технічні параметри рудного покладу:

- **Потужність (товщина):** рудні тіла характеризуються великою потужністю, яка в центральній частині кар'єрного поля сягає від 60–80 до 150 метрів і більше.
- **Кут падіння:** поклади мають круте падіння (від 45° до $70\text{--}80^\circ$) і простягаються на значну глибину, виходячи далеко за межі сучасного дна кар'єру.
- **Коефіцієнт розкриву:** через круте падіння рудного тіла, для його вилучення на глибині необхідно постійно розширювати верхні контури кар'єру. Це призводить до високих обсягів виймання порожніх (розкривних) порід. Поточний експлуатаційний коефіцієнт розкриву на ІНГЗК є значним, що вимагає переміщення великих мас породи на зовнішні відвали.

1.8.3 Вплив гірничо-технічних умов на вибір обладнання

Велика потужність рудних тіл є надзвичайно сприятливим фактором для ведення відкритих гірничих робіт. Вона дозволяє розбудовувати широкі робочі площадки (берми) і використовувати високопродуктивне виймально-навантажувальне обладнання — важкі бурові верстати та екскаватори з великою місткістю ковша (ЕКГ-10). Екскаватор у таких умовах може відпрацьовувати вибій нормальними вибоями, не захоплюючи порожні породи, що знижує втрати та розубожування руди [12].

Однак, колосальні обсяги запасів та велика потужність покладів у поєднанні з крутим кутом падіння зумовлюють інтенсивне поглиблення кар'єру.

З кожним роком робоча зона звужується, а плече транспортування гірської маси на поверхню стрімко зростає. У таких жорстких гірничо-технічних умовах транспортування сотень мільйонів тонн гірської маси дрібним транспортом є технічно неможливим. Саме масштаби запасів і геометрія рудних тіл Інгулецького родовища роблять безальтернативним використання парку великовантажних автосамоскидів, здатних вивозити за один рейс від 130 тонн і більше важкої скельної породи крутими технологічними з'їздами.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА: Розрахунок технологічних параметрів кар'єру ПрАТ «ІнГЗК»

2.1 Загальна організація відкритих гірничих робіт

Ключовим критерієм ефективності відкритої розробки є річна потужність кар'єру за обсягами видобутої гірничої маси. Для обґрунтування планових показників маркшейдери та технологи застосовують класичні інженерні розрахунки. Зазвичай потужність підприємства визначають за двома умовами: виходячи з нормативних темпів посування робочих уступів, або ж за максимальною кількістю екскаваторів, які можна одночасно й безпечно розставити у вибоях згідно з паспортами ведення робіт.

Організація всіх виробничих ланок на гірничому об'єкті жорстко регламентується його календарним режимом. Цей графік формує баланс між чистим часом роботи техніки та обов'язковими простоями (технічне обслуговування, перезмінки, вихідні). Залежно від проєкту, кар'єр може зупинятися у свята або ж функціонувати цілодобово.

У межах проєкту кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» прийнято безперервний графік експлуатації: кар'єр працює всі 365 днів на рік, без жодних вихідних чи святкових днів. Робоча доба розбита на дві зміни тривалістю по 12 годин. Підготовка скельного масиву до виймання ведеться за чітким розкладом — масові вибухи проводяться раз на два тижні. При цьому робота зовнішніх відвалів повністю синхронізована з графіком видобутку. Прийом та складування пустих (розкривних) порід здійснюється цілий рік. Відвальне господарство працює у двозмінному режимі, чого цілком достатньо для стабільного розвантаження кар'єру від розкриву.

«Кількість робочих днів для відповідних розрахунків визначається за наступною формулою:

$$T_p = T_k - (t_b + t_{пр}), \text{ днів} \quad (2.1)$$

де T_k – календарний фонд днів за рік, днів;

t_b - кількість днів простоїв через масові вибухи, днів ($t_b = 12$ днів)

$t_{пр}$ – інші простої, днів ($t_{пр} = 3$ дні)» [15]

$$T_p = 365 - (15) = 350 \text{ днів}$$

«Кількість робочих змін за рік:

$$T_{зм} = T_p \cdot n_{зм}, \text{ змін/рік} \quad (2.2)$$

де $n_{зм}$ – кількість змін на добу» [15].

$$T_{зм} = 350 \times 2 = 700 \text{ змін/рік}$$

«Виходячи з технічного завдання, кар'єр повинен забезпечити стабільний річний обсяг видобутку на рівні 34 млн тонн залізорудної сировини.

Експлуатаційний коефіцієнт розкриву при цьому становить $n_e = 0,75 \text{ м}^3/\text{т}$.

Для того щоб розрахувати загальну річну продуктивність кар'єру по розкривних породах, застосовується така формула» [15]:

$$A_v = A_p \cdot n_e, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.3)$$

де « A_p - продуктивність кар'єру по руді, т;

n_e - експлуатаційний коефіцієнт розкриву, $\text{м}^3/\text{т}$ » [15].

для розкриву $A_{v.p.} = 34 \cdot 10^6 \cdot 0,75 = 25,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{рік};$

«Продуктивність кар'єру по гірничій масі при заданій продуктивності по руді визначиться по формулі:

$$A_{г.м.} = \frac{A_p}{\gamma} + A_{v.ск} + A_{v.н}, \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

де γ - питома вага руди» [15].

$$A_{г.м.} = \frac{34 \cdot 10^6}{3.3} + 25,5 \cdot 10^6 = 35,8 \cdot 10^6, \text{ м}^3 / \text{рік}$$

«Місячну продуктивність кар'єру визначаємо по виразу:

$$A_m = \frac{A \cdot K_{нер.}}{12}, \quad (2.5)$$

де $K_{нер.}$ - коефіцієнт нерівномірності роботи підприємства (приймаємо рівним 1,15)» [15]

«Тоді місячна продуктивність кар'єру складе» [15]:

для руди $A_{м.р} = \frac{34 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{12} = 3,26 \cdot 10^6, \text{ т/міс};$

для розкриву $A_{м.в} = \frac{25,5 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{12} = 2,44 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{міс}$

«Місячна продуктивність кар'єру по гірничий масі складе» [16]:

$$A_{м.г.м.} = \frac{35,8 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{12} = 3,43 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{міс}$$

«Добову продуктивність кар'єру визначимо по формулі» [16]:

$$A_{сут} = \frac{A \cdot K_{нер.}}{T_p}, \quad (2.6)$$

«Тоді добова продуктивність кар'єру складе» [16]:

для руди $A_{д.р} = \frac{34 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{350} = 0,1117 \cdot 10^6, \text{ т/добу};$

для розкриву $A_{д.в.} = \frac{25,5 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{350} = 0,0838 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{добу}$

«Добова продуктивність кар'єру по гірничий масі складе» [16]:

$$A_{д.г.м.} = \frac{35,8 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{350} = 0,1176 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{добу}$$

«Змінна продуктивність кар'єру складає» [16]:

$$A_{зм} = \frac{A_d}{n_{зм}}, \quad (2.7)$$

«Змінна продуктивність кар'єру складає» [16]:

для руди $A_{зм.р} = \frac{111714}{2} = 0,0559 \cdot 10^6, \text{ т/зм};$

для розкриву $A_{зм.в.} = \frac{83786}{2} = 0,0419 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{зм}$

«Змінна продуктивність кар'єру по гірничий масі складе» [16]:

$$A_{зм.г.м.} = \frac{117639}{2} = 0,0588 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{зм}$$

Розраховані показники продуктивності кар'єру зводимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.

Показники	Од. виміру	Продуктивність			
		Річна, млн.	Місячна, млн.	Добова, млн.	Змінна, млн.
Руда	т	34	3,2583	0,1117	0,0559
Розкрив	м ³	25,5	2,4438	0,0838	0,0419
Гірнича маса	м ³	35,80	3,4311	0,1176	0,0588

2.2 Розкриття та система розробки родовища

2.2.1 Розкриття родовища

Вибір оптимальної схеми розкриття родовища є одним із найважливіших етапів проєктування кар'єру. Це інженерне рішення завжди приймається індивідуально і базується на рельєфі денної поверхні, просторових контурах рудного тіла та загальних гірничо-геологічних умовах.

Доступ до гірничих виробок на кар'єрі забезпечується через систему траншей. Головним доступом є капітальна траншея зовнішнього закладення. Робочі горизонти також розкриті двома постійними внутрішніми траншеями (Східною та Західною), поздовжній керівний ухил яких становить 60–80%. Крім того, вздовж східного борту прокладені спеціальні залізничні траншеї, що з'єднують поверхню з горизонтом -90 метрів. Для забезпечення гнучкості гірничих робіт, у міру заглиблення кар'єру постійно проходяться тимчасові допоміжні з'їзди.

Оскільки кар'єр має велику кінцеву глибину, а обсяги видобутку за проєктом реконструкції сягають 70 млн тонн гірської маси на рік, використання лише одного виду транспорту є неефективним. Тому на підприємстві реалізовано комбіновану транспортну схему: на нижніх горизонтах (усередині кар'єру) працюють автосамоскиди, а на поверхню руда видається за допомогою конвеєрів. У кар'єрі функціонують два магістральні конвеєрні тракти — «Східний-2» та «Західний». Траса цих конвеєрів проходить частково у підземних гірничих виробках, а на поверхні — у закритих галереях. Підземна частина конвеєрної системи приймає руду з позначки -60 метрів і щорічно транспортує

близько 27 млн тонн сировини безпосередньо до корпусів 3-ї та 4-ї стадій дроблення.

Параметри робочої зони також суворо регламентовані. Згідно з «Нормами технологічного проектування», під час відпрацювання підірваної скельної породи механічними лопатами, висота уступу не має перевищувати максимальної паспортної висоти черпання екскаватора. Також контролюється висота розвалу гірської маси: при одно- та дворядному підриванні вона не повинна перевищувати максимальну висоту черпання, а у випадку багаторядного вибуху допускається її збільшення не більше ніж у 1,5 раза від цього показника.

«Під час проектування розкривних траншей визначають чотири основні параметри:

- ширину основи (по дну);
- загальну довжину;
- поздовжній ухил;
- кути укосу бортів.

Зокрема, довжина похилої в'їзної (з'їзної) траншеї прямо залежить від глибини горизонту, що розкривається, та заданого ухилу. Вона розраховується за базовою формулою» [15]:

$$L_m = \frac{1000 \times h_y}{i_p}, \text{ м} \quad (2.8)$$

де h_y – «глибина закладання траншеї (висота уступу), м;

i_p – величина нахилу» [15], %;

$$L_m = \frac{1000 \times 15}{80} = 188, \text{ м}$$

Ширина основи (дна) капітальної траншеї є одним із найважливіших проєктних параметрів. Вона має бути достатньою для безпечного розміщення виймального та транспортного обладнання, а також для забезпечення безперебійної роботи за обраною технологічною схемою.

Для умов кар'єру ІнГЗК розрахуємо мінімальну ширину дна в'їзної похилої траншеї. Оскільки передбачається кільцева (петльова) схема подачі

великовантажного автосамоскида БелАЗ-75131 під екскаватор (коли машина робить розворот на 180 градусів і подається заднім ходом до вибою), ширина траншеї має вміщувати повний діаметр розвороту техніки із запасом на безпеку.

«Розрахунок виконується за наступною емпіричною формулою:

$$B_T = 2(Ra + 0,5a + c), \text{ м} \quad (2.9)$$

де, Ra – мінімальний радіус розвороту автосамоскида, м;

a – ширина автосамоскида, м;

c – безпечна відстань між машиною і бортом траншеї, м» [15].

$$B_T = 2(13 + 3,24 + 1) = 35 \text{ м}$$

Під час розкриття нових горизонтів або загальної реконструкції кар'єру лєвова частка всіх гірничо-капітальних робіт припадає саме на проходку траншей. Кубатура породи, яку необхідно вийняти для їх створення, є ключовим показником — він прямо впливає на строки підготовки вибоїв та фінансові витрати підприємства. Загальний об'єм виймання залежить від ширини основи траншеї, кутів укосу її бортів, заданого поздовжнього ухилу траси, а також від початкового рельєфу місцевості.

Для точного маркшейдерського підрахунку об'ємів найчастіше застосовують класичну аналітичну методику професора Є.Ф. Шешка. Її головний принцип полягає у розбитті складного просторового контуру траншеї на прості геометричні фігури. Відповідно до цієї методики, траншею умовно ділять на центральну частину (клин з прямокутним перерізом, який позначають як V_1) та дві однакові бічні частини, що формують укоси бортів (їх позначають як V_2).

Таким чином, сумарний об'єм гірської маси при проходці похилої капітальної траншеї визначається за базовою формулою:

$$V = V_1 + 2V_2, \text{ м}^3 \quad (2.10)$$

Для похилої частини:

$$V_1 = \frac{e \times h^2}{2i}, \text{ м}^3. \quad (2.11)$$

$$V_2 = \frac{h^3}{6tg\alpha \times i}, \text{ м}^3. \quad (2.12)$$

«Звідси об'єм похилої траншеї визначається за формулою» [17]:

$$V_3 = \frac{h^2}{i} \left(\frac{e}{2} + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \alpha} \right), \text{ м}^3. \quad (2.13)$$

де h - «глибина траншеї, м;

i - нахил траншеї,

e - ширина траншеї понизу, м;

α - угол укусу бортів траншеї, град» [5].

$$V_3 = \frac{225}{0.08} \left(\frac{35}{2} + \frac{15}{3.58} \right) = 61019, \text{ м}^3.$$

«Об'єм розрізної траншеї при постійному її перерізі визначається, як об'єм прямої призми, в основі якої лежить трапеція» [18]:

$$V_p = (e + h \times \operatorname{ctg} \alpha) \times h \times L, \text{ м}^3 \quad (2.14)$$

де L - «довжина траншеї» [5], м.

$$V_p = (35 + 12.59) \times 15 \times 150 = 107070, \text{ м}^3$$

Щоб визначити, скільки календарного часу піде на будівництво розрізної траншеї, інженеру насамперед потрібно знати реальну видобувну здатність екскаватора. Тобто необхідно розрахувати його добову експлуатаційну продуктивність ($Q_{\text{екс.доб}}$). Ця величина формується під впливом як характеристик самої техніки, так і режиму роботи підприємства.

З технічного боку на обсяги відвантаження впливають: паспортна місткість ковша механічної лопати ($E_{\text{екс}}$), наскільки повно він захоплює породу у вибої (k_n), тривалість одного циклу черпання та розвантаження (T_u), а також те, наскільки порода збільшилась в об'ємі після вибуху — коефіцієнт розпушення (k_p).

Щодо організації праці, то базовими даними є кількість годин у робочій зміні ($T_{\text{зм}}$), кількість таких змін протягом доби ($n_{\text{зм}}$) та коефіцієнт використання техніки у часі ($k_{\text{вик}}$). Останній показник є дуже важливим, оскільки він враховує неминучі простої машини на перезмінки, очікування подачі автосамоскидів та технологічні перерви.

У вигляді математичної залежності добовий обсяг відвантаженої гірничої маси розраховується так:

$$Q_{\text{екс}} = \frac{3600 E \cdot \kappa_n}{t_{\text{ц}} \cdot \kappa_p} T_p \cdot \kappa_v \cdot n_{\text{зм}} \cdot t_{\text{зм}}, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.15)$$

$$Q_{\text{екс}} = \frac{3600 \cdot 10 \cdot 0,85}{36 \cdot 1,55} 350 \cdot 0,45 \cdot 2 \cdot 12 = 2072000, \text{ м}^3/\text{рік}$$

Визначення загальної календарної тривалості будівництва розрізної траншеї базується на співвідношенні проєктних обсягів гірничо-капітальних робіт та фактичних можливостей виймально-вантажного обладнання. Тривалість проходження траншеї в добах розраховується як математичне відношення сумарного будівельного об'єму гірської маси в її геометричних контурах до встановленої добової експлуатаційної продуктивності задіяного екскаваторного комплексу. У вигляді розрахункової залежності це має такий вигляд:

$$T = \frac{V_z + V_p}{Q_{\text{екс}}}, \text{ роки} \quad (2.16)$$

$$T = \frac{61019 + 107070}{2072000} = 0,081 \text{ роки} = 0,97 \text{ міс.}$$

2.2.2 Система розробки родовища

Обґрунтування геометричних параметрів робочого майданчика — зокрема, його мінімальної ширини — вимагає всебічного врахування робочих характеристик виймального обладнання, організації руху автотранспорту, фізико-механічних властивостей масиву та висоти уступу, що відпрацьовується. При розробці міцних скельних порід за традиційною циклічною технологією «екскаватор — великовантажний самоскид», ця просторова величина формується як сума кількох обов'язкових складових. До її структури входять: ширина розвалу гірської маси після здійснення масового вибуху, резервна смуга безпеки від нижньої бровки розвалу до дороги, габарити самої транспортної магістралі, зона для вільного маневрування допоміжної техніки (наприклад, бульдозерів), а також ширина запобіжної призми.

Просторове планування фронту робіт має гарантувати безперешкодне та безпечне переміщення гірничотранспортних машин вздовж вибою, що є головною умовою для виконання встановлених обсягів видобутку. Своєю чергою, розрахунок експлуатаційної (нормальної) ширини робочої площадки (B_n) базується на попередньо визначеному мінімально допустимому показнику (B_{min}). Для переходу до нормативної величини інженери додатково враховують нормативний час забезпеченості екскаватора підготовленими до виймання запасами гірничої маси (t), планову продуктивність об'єкта, загальну довжину робочого фронту (L_ϕ) та висоту уступу.

Аналітично ця залежність визначається за формулою:

$$B_n = B_{min} + \frac{\tau \times A_p}{L_{p.\phi} \times h_y}, \text{ м} \quad (2.17)$$

Проектне значення мінімальної ширини робочої площадки (B_{min}) тісно пов'язане з фізико-механічними властивостями гірського масиву, насамперед з його міцністю. Під час відпрацювання м'яких та пухких відкладів ключовою умовою є надання достатньої площі для безпечного розміщення та функціонування транспортних комунікацій. Натомість, експлуатація уступів, складених міцними скельними породами, регламентується більш жорсткими правилами техніки безпеки: просторовий розмір майданчика повинен щонайменше у два рази перевищувати робочу висоту уступу.

У випадку розробки скельних порід обчислення мінімальних габаритів робочої площадки виконується шляхом підсумовування низки нормативних просторових елементів. До її структури обов'язково включаються: ширина поточної екскаваторної заходки (A_z), ширина утвореного вибухом розвалу гірської маси (x), резервний безпечний зазор між нижньою бровкою розвалу та краєм транспортної смуги (c), ширина самої проїжджої частини кар'єрної автодороги (T), а також розмір запобіжної призми, тобто берми (z).

У вигляді математичного виразу цей розрахунок має такий вигляд:

$$B_{min} = A_z + c + T + Z + x, \text{ м} \quad (2.18)$$

«Для визначення робочої ширини екскаваторної заходки використовується співвідношення, що базується на габаритах навантажувальної техніки» [18]:

$$A_3 = (1,5 - 1,7) R_{\text{чы}} \quad (2.19)$$

де $R_{\text{чы}}$ – «радіус черпання на горизонті встановлення екскаватора, м» [18].

$$A_3 = 1,7 \cdot 12,6 = 21 \text{ м}$$

«Розмір розвалу підірваної гірничої маси (x) безпосередньо обумовлюється висотою робочого уступу і становить» [18]:

$$x = 1,75 H_y, \text{ м.} \quad (2.20)$$

Руда $x = 1,75 \cdot 15 = 27, \text{ м.}$

Розкрив $x = 1,75 \cdot 15 = 27, \text{ м.}$

Руда $B_{\text{min}} = 21 + 27 + 1 + 10 + 3 = 62 \text{ м}$

Розкрив $B_{\text{min}} = 21 + 27 + 1 + 10 + 3 = 62 \text{ м}$

Звідси

Руда $B_n = 62 + \frac{0,125 \times 10303000}{3800 \times 15} = 85 \text{ м}$

Розкрив $B_n = 62 + \frac{0,125 \times 25500000}{6200 \times 15} = 97 \text{ м}$

Нормативні темпи річного просування видобувного фронту в плані (l_p) перебувають у прямій функціональній залежності від встановленої виробничої потужності підприємства за обсягами видобутку корисної копалини. Для коректного визначення цього динамічного показника в інженерних розрахунках необхідно використовувати дані про загальну протяжність активного робочого фронту по руді ($L_{\phi.p}$), а також середню висоту видобувного уступу.

З погляду математичного моделювання, розрахунок даного параметра виконується за наступною залежністю:

$$l_p^{\text{необх.}} = \frac{A_p}{L_{\phi.p.} \times h}, \text{ м} \quad (2.21)$$

$$l_p^{\text{необх.}} = \frac{10303000}{3800 \times 15} = 180 \text{ м}$$

«Потрібний темп щорічного поглиблення видобувної зони (h_p) визначається на основі швидкості просування робіт у горизонтальній площині (l_p). На цю величину також впливають кут нахилу робочого борту кар'єру (φ) та кут падіння самого рудного тіла (γ). Розрахунок здійснюється за наступною формулою» [18]:

$$h_o = \frac{l_p}{ctg\varphi + ctg\gamma}, \text{ м / рік} \quad (2.22)$$

$$h_o = \frac{180}{2,9 + 0,36} = 55, \text{ м / рік}$$

2.3 Підготовка гірських порід до виймання

Основним завданням етапу підготовки гірського масиву до виймання є створення оптимальних умов для продуктивної експлуатації екскаваторного парку, транспортних засобів та стабільної роботи дробильно-збагачувального комплексу. Вибір методу впливу на масив безпосередньо корелює з фізико-механічними властивостями порід: для м'яких відкладів застосовують безпосереднє механічне виймання, тоді як для зміцнених структур необхідне попереднє руйнування зв'язків у моноліті.

У випадку розробки міцних скельних та напівскельних порід, характерних для залізрудних родовищ, домінуючим методом підготовки є буровибуховий комплекс робіт. Ця технологія передбачає реалізацію двох взаємопов'язаних етапів: формування сітки технологічних свердловин за допомогою бурових установок та подальше ініціювання розміщених у них зарядів вибухових речовин для ефективної дефрагментації масиву до заданого гранскладу.

Процес розрахунку необхідного парку бурового обладнання базується на принципі диференціації залежно від літологічного складу порід. Це зумовлює необхідність роздільного планування кількості бурових верстатів: окремо для підготовки запасів корисної копалини (залізистих кварцитів) та окремо для

відпрацювання скельних розкривних порід, що мають відмінні показники буримості та міцності.

Аналітичне визначення інвентарної кількості бурових верстатів здійснюється з урахуванням річного обсягу буріння, змінної продуктивності одиниці техніки та нормативного коефіцієнта використання обладнання в часі.

В умовах розробки родовища ПрАТ «ІнГЗК», де залягають міцні скельні породи з показником за шкалою професора М.М. Протодьяконова $f = 10-18$, підготовка масиву до виймання здійснюється із застосуванням сучасного бурового устаткування. Для формування вибухових свердловин використовуються високоефективні верстати шарошкового буріння вітчизняного виробництва типу СБШ-250 МНА, а також бурові установки іноземного виробництва (Ferdinand).

Виконання повного комплексу буровибухових робіт (БВР) делеговано фахівцям спеціалізованого підприємства «Кривбасвибухпром», що забезпечує високу якість дроблення та дотримання параметрів сітки свердловин.

З метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та підвищення промислової безпеки, на кар'єрі реалізовано перехід на екологічно безпечні технології ініціювання масиву. Зокрема, підривання гірської породи проводиться безтротилловими емульсійними вибуховими речовинами місцевого виробництва типу «Україніт ПП-2». Даний підхід дозволяє суттєво зменшити викиди токсичних газів в атмосферу кар'єру та забезпечити стабільно якісний вихід підірваної маси, що є критично важливим для наступних ланок технологічного ланцюга.

2.3.1 Розрахунок параметрів підривних робіт

«Визначимо діаметр заряду:

$$d_z = \kappa_p \times d_\partial, \text{ м} \quad (2.23)$$

де d_∂ - діаметр долота, м ($d_\partial = 0,243$ м);

κ_p - коефіцієнт розширення свердловини.

$$\kappa_p = 1,06 - (f - 2) \times 0,003 \quad (2.24)$$

f - коефіцієнт міцності порід по шкалі проф. М.М. Протод'яконова» [15].

по руді $\kappa_p = 1,06 - (16 - 2) \times 0,003 = 1,018$

по скелі $\kappa_p = 1,06 - (14 - 2) \times 0,003 = 1,024$

по руді $d_3 = 1,018 \times 0,243 = 0,247, м$

по скелі $d_3 = 1,024 \times 0,243 = 0,249, м$

Черговим кроком інженерного розрахунку є встановлення величини лінії опору по підшві (W_2) для другого та всіх подальших рядів свердловин. Даний параметр визначає товщину масиву, яку заряд вибухівки конкретного діаметра може ефективно відколоти від цілика та якісно подрібнити.

Основна мета цих обчислень полягає у забезпеченні заданої кусковатості підірваної руди. Отримання рівномірного гранскладу є базовою умовою для продуктивної роботи екскаваторів (швидке заповнення ковша) та стабільного завантаження кар'єрних самоскидів (мінімізація ударних навантажень та простоїв).

У проєктній практиці розрахунок цього показника виконується за наступною математичною залежністю:

$$W_2 = 1,05 \times d_3 \times \sqrt[4]{\frac{\Delta \times Q}{f}}, м \quad (2.25)$$

де Δ - «щільність заряджання, кг/м³ ($\Delta = 1250$ кг/м³).

Q - теплота вибуху, кдж/кг ($Q = 2950$ кдж/кг)» [15];

по руді $W_2 = 1,05 \times 0,247 \times \sqrt[4]{\frac{1250 \times 2950}{16}} = 5,6 м$

по розкриву $W_2 = 1,05 \times 0,249 \times \sqrt[4]{\frac{1250 \times 2950}{14}} = 5,9 м$

Приймаємо сітку свердловин

по руді 5,6м x 5,6м

по розкриву 5,9м x 5,9м

Величина, отримана за допомогою виразу (2.25), може бути прийнята як лінія опору по підшві для першого ряду свердловин. Однак, у такому випадку

технічний регламент вимагає проведення обов'язкової перевірки цього параметра за умовами безпечного розміщення бурового обладнання. Даний розрахунок є критичним з погляду охорони праці, оскільки він дозволяє встановити мінімально допустиму відстань, на якій буровий верстат може перебувати від верхньої бровки уступу без ризику обвалення чи сповзання під час роботи.

Математично перевірка лінії опору по підшві (W_l) за умовою безпеки виконується згідно з наступною залежністю:

$$W_{m\bar{o}} = h_y \times \operatorname{ctg} \alpha + C, \text{ м} \quad (2.26)$$

де h_y - «висота уступу, м;

α - кут укосу уступу, град ($\alpha_p = 70$ град, $\alpha_c = 70$ град);

C - безпечна відстань від верхньої брівки уступу до осі свердловини, м ($C = 3$ м)» [15];

по руді $W_{m\bar{o}} = 15 \times \operatorname{ctg} 70 + 3 = 8,5 \text{ м}$

по розкриву $W_{m\bar{o}} = 15 \times \operatorname{ctg} 70 + 3 = 8,5 \text{ м}$

Порівнюємо два значення ОПП, приймаємо

по руді $W_1 = W_{m\bar{o}} = 8,5 \text{ м}$

по розкриву $W_1 = W_{m\bar{o}} = 8,5 \text{ м}$

«Визначимо питомі витрати ВР за формулою:

$$q = 12^4 \sqrt{\frac{f^3 \times \Delta}{Q^3}}, \quad \text{кг} / \text{м}^3 \quad (2.27)$$

де 12 - емпіричний і розмірностний коефіцієнт, $\text{кгж}^{0,75} / \text{м}^{2,25}$ » [15];

по руді $q = 12^4 \sqrt{\frac{16^3 \times 1250}{2950^3}} = 1,426 \text{ кг} / \text{м}^3$

по розкриву $q = 12^4 \sqrt{\frac{14^3 \times 1250}{2950^3}} = 1,29 \text{ кг} / \text{м}^3$

«Визначимо довжину перебура за формулою:

$$l_{\text{пер}} = 0,15 \times h_y + 0,1 \times f - 5 \times d_z, \text{ м} \quad (2.28)$$

де h_y - висота уступу, м ($h_y = 15$ м);

f - коефіцієнт міцності порід по шкалі М.М. Протод'яконова» [15]

по руді $l_{nep} = 0,15 \times 15 + 0,1 \times 16 - 5 \times 0,247 = 2,6 \text{ м}$

по розкриву $l_{nep} = 0,15 \times 15 + 0,1 \times 14 - 5 \times 0,249 = 2,4 \text{ м}$

«Довжина вертикальних свердловин на кар'єрах більше висоти уступу на величину перебура, тоді» [15]:

$$l_c = h_y + l_{nep}, \text{ м} \quad (2.29)$$

по руді $l_c = 15 + 2,6 = 17,6 \text{ м}$

по розкриву $l_c = 12 + 2,4 = 14,4 \text{ м}$

«Визначимо місткість заряду в 1 м свердловини» [15]:

$$P = \frac{\pi \times d_3^2}{4} \Delta, \text{ кг / м} \quad (2.30)$$

по руді $P = \frac{3,14 \times 0,247^2}{4} 1250 = 60 \text{ кг / м}$

по розкриву $P = \frac{3,14 \times 0,249^2}{4} 1250 = 60,8 \text{ кг / м}$

«Визначимо довжину забійки по формулі» [15]:

$$l_{заб} = l_c - \frac{W_2^2 \times h_y \times q}{P}, \text{ м} \quad (2.31)$$

по руді $l_{заб} = 17,6 - \frac{5,6^2 \times 15 \times 1,426}{60} = 6,4 \text{ м}$

по розкриву $l_{заб} = 14,4 - \frac{5,9^2 \times 15 \times 1,29}{60,8} = 6,3 \text{ м}$

Використання комплексу розрахунків за аналітичними залежностями (2.25)–(2.31) дозволяє встановити раціональну відстань між сусідніми свердловинами у першому ряду. Отриманий показник повинен відповідати двом визначальним технологічним вимогам, що гарантують якість підготовки масиву.

По-перше, сумарний енергетичний потенціал вибуху має бути достатнім для інтенсивного руйнування та дроблення скельних порід у зоні відриву підосви уступу. По-друге, проєктна маса заряду промислової вибухової

речовини повинна вільно розміщуватися в робочому об'ємі свердловини заданого діаметра з урахуванням необхідної довжини забійки.

З погляду математичного обґрунтування, оптимальна відстань між свердловинами в ряду визначається за наступною залежністю:

$$a_1 = \frac{(l_c - l_{заб}) \times P}{W_1 \times h_y \times q}, \text{ м} \quad (2.32)$$

по руді
$$a_1 = \frac{(17,6 - 6,4) \times 60}{8,5 \times 15 \times 1,426} = 3,7 \text{ м}$$

по розкриву
$$a_1 = \frac{(17,4 - 6,3) \times 60,8}{8,5 \times 15 \times 1,29} = 4,1 \text{ м}$$

«Отриману величину порівняємо з лінією опору за підшвою свердловин для першого ряду W_1 , тобто визначимо коефіцієнт зближення зарядів у першому ряді» [17]:

$$m_1 = \frac{a_1}{W_1} \quad (2.33)$$

по руді
$$m_1 = \frac{3,7}{8,5} = 0,44, \text{ тобто менше } 0,65.$$

по розкриву
$$m_1 = \frac{4,1}{8,5} = 0,48, \text{ тобто менше } 0,65.$$

З метою цілеспрямованої інтенсивності подрібнення масиву шляхом збільшення коефіцієнта зближення зарядів, доцільно використовувати технологічну схему зі спареним розташуванням свердловин. Відстань між такими парними структурами (за умови незмінної величини лінії опору W_1) розраховується на основі принципу енергетичної еквівалентності.

Ключова логіка даного інженерного підходу полягає в тому, що питомий об'єм гірської маси, який піддається руйнуванню та відриву під впливом однієї спареної свердловини, має бути ідентичним об'єму породи, що відпрацьовується трьома поодинокими свердловинами у другому та подальших рядах сітки.

Розрахунок інтервалу між парами свердловин у межах першого ряду виконується за наступною математичною залежністю:

$$a_{1cn} = \frac{(l_c - l_{заб}) \times 2 \times P}{W_1 \times h_y \times q}, м \quad (2.34)$$

по руді $a_{1cn} = \frac{(17,6 - 6,4) \times 2 \times 60}{8,5 \times 15 \times 1,426} = 7,4 м$

по розкриву $a_{1cn} = \frac{(17,4 - 6,3) \times 2 \times 60,8}{8,5 \times 15 \times 1,29} = 8,2 м$

по руді $m_{1cn} = \frac{7,4}{8,5} = 0,88$, тобто більше 0,65.

по розкриву $m_{1cn} = \frac{8,2}{8,5} = 0,97$, тобто більше 0,65.

Отже, для цих умов у першому ряді необхідно приймати спарені свердловини.

2.3.2 Визначення необхідної кількості бурового устаткування

«Визначимо вихід гірської маси з 1 м свердловини:

$$V = \frac{(W_1 + W_2(n-1)) \times h_y}{\left(\frac{2}{a_{1cm}} + \frac{n-1}{W_2}\right) \times l_c}, м^3 \quad (2.35)$$

де n - кількість рядів свердловин у блоці, шт ($n=3$ шт)» [15];

по руді $V = \frac{(8,5 + 5,6(3-1)) \times 15}{\left(\frac{2}{7,4} + \frac{3-1}{5,6}\right) \times 17,6} = 26,8 м^3$

по розкриву $V = \frac{(8,5 + 5,9(3-1)) \times 15}{\left(\frac{2}{8,2} + \frac{3-1}{5,9}\right) \times 17,4} = 30,1 м^3$

«Визначимо сумарну кількість метрів свердловин необхідних для забезпечення річної продуктивності кар'єру по руді:

$$\sum l_c = \frac{A}{V} \times \kappa_n, м \quad (2.36)$$

де A - річна кількість гірської породи, що відпрацьовується, $м^3$;

V - вихід гірської маси з 1 м свердловини, $м^3$;

κ_n - коефіцієнт утрат ($\kappa_n = 1,06$)» [15];

по руді
$$\sum l_c = \frac{10,303 \times 10^6}{26,8} \times 1,06 = 408922 \text{ м}$$

по розкритву
$$\sum l_c = \frac{25,5 \times 10^6}{30,1} \times 1,06 = 901043 \text{ м}$$

«Визначимо необхідна кількість верстатів:

$$N_v = \frac{\sum l_c}{Q_{зм} \times n_{зм} \times T_p}, \text{ шт} \quad (2.37)$$

де $Q_{зм}$ – зміна продуктивність бурового верстата, м/зміну.

T_p - число робочих днів на рік, днів ($T_p = 350$ днів);

$n_{зм}$ - кількість змін роботи бурового устаткування в добу, шт ($n_{зм} = 2$)» [15];

по руді
$$N_{в.р} = \frac{408922}{75 \times 2 \times 350} = 7,8 \text{ шт}$$

по розкритву
$$N_{в.с.} = \frac{901043}{75 \times 2 \times 350} = 17,2 \text{ шт}$$

«Визначимо інвентарна кількість верстатів:

$$N_{с.инв} = N_{с.з.} \times K_p, \text{ шт} \quad (2.38)$$

де K_p - коефіцієнт резерву, ($K_p = 1,2$)» [17].

по руді
$$N_{в.инв} = 7,8 \times 1,2 = 9,4 \approx 10 \text{ шт}$$

по розкритву
$$N_{в.инв} = 17,2 \times 1,2 = 20,6 \approx 21 \text{ шт}$$

2.3.3 Визначення необхідної кількості засобів механізації зарядження, забійки та штату працівників

«Визначимо річну витрату ВР:

$$Q_z = 0,001 \times A \times q, \text{ кг} \quad (2.39)$$

де A - річна продуктивність гірської породи, що відпрацьовується, м³;

q - питомі витрати ВР, кг/м³» [1];

по руді
$$Q_z = 0,001 \times 10,303 \times 10^6 \times 1,426 = 14693 \text{ т}$$

по розкритву
$$Q_z = 0,001 \times 25,5 \times 10^6 \times 1,29 = 32899 \text{ т}$$

«Визначимо кількість ВР в середньому блоці:

$$Q_{\text{бл}} = \frac{P_{\text{экс}} \times q}{1000}, \text{ кг} \quad (2.40)$$

де $P_{\text{экс}}$ - середня місячна продуктивність екскаватора, тис.м³;

q - питома витрата ВВ, кг/м³» [15];

по руді
$$Q_{\text{бл}} = \frac{250 \times 10^3 \times 1,426}{1000} = 357 \text{ т}$$

по розкриттю
$$Q_{\text{бл}} = \frac{250 \times 10^3 \times 1,29}{1000} = 323 \text{ т}$$

«Визначимо кількість блоків, які підривають за один масовий вибух:

$$R_{\text{бл}} = \frac{Q_{\text{з}}}{Q_{\text{бл}} \times N_{\text{мас}} \times 12}, \text{ шт} \quad (2.41)$$

де $Q_{\text{з}}$ - річна витрата ВР, т;

$N_{\text{мас}}$ - кількість масових вибухів на місяць, шт» [15];

по руді
$$R_{\text{бл}} = \frac{14693}{357 \times 2 \times 12} = 2 \text{ блока}$$

по розкриттю
$$R_{\text{бл}} = \frac{32899}{323 \times 2 \times 12} = 5,0 \text{ блоков}$$

«Визначимо необхідну кількість зарядних машин для підготовки цих блоків:

$$N_{\text{м}} = \frac{R_{\text{бл}} \times Q_{\text{бл}}}{P_{\text{зм}} \times N_{\text{см}}}, \text{ шт} \quad (2.42)$$

де $P_{\text{зм}}$ - середня місячна продуктивність зарядної машини;

$N_{\text{см}}$ - кількість змін на підготовку вибуху» [15]

по руді
$$N_{\text{м}} = \frac{2 \times 357}{50 \times 4} = 3,6 \text{ шт}$$

по розкриттю
$$N_{\text{м}} = \frac{6,0 \times 323}{50 \times 4} = 8,1 \text{ шт}$$

«Визначимо інвентарну кількість зарядних машин» [15]:

$$N_{\text{м.ин.}} = 1,2 \times N_{\text{м}}, \text{ шт} \quad (2.43)$$

по руді
$$N_{\text{м.ин.}} = 3,6 \times 1,2 = 4,3 \approx 5 \text{ машин}$$

по розкриву $N_{\text{м.ин.}} = 8,1 \times 1,2 = 9,7 = 10 \text{ машин}$

«Визначаємо необхідна кількість забійних машин:

$$N_3 = \frac{A}{4000000}, \text{ шт} \quad (2.44)$$

де A - річна кількість гірської породи, що відпрацьовується, м^3 » [15];

по руді $N_3 = \frac{10,303 \times 10^6}{4000000} = 3 \text{ машини}$

по розкриву $N_3 = \frac{25,5 \times 10^6}{4000000} = 7 \text{ машин}$

«Визначимо необхідну кількість підривників» [15]:

$$N_{\text{вз}} = \frac{A}{600000}, \text{ чол.} \quad (2.45)$$

по руді $N_{\text{вз}} = \frac{10,303 \cdot 10^6}{600000} \approx 18 \text{ чол.}$

по розкриву $N_{\text{вз}} = \frac{25,5 \times 10^6}{600000} = 43 \text{ чол.}$

2.4 Виймально-навантажувальні роботи

Основною метою виймально-навантажувальних операцій у кар'єрному просторі є вилучення підготовленої (розпушеної) гірничої маси з робочого вибою та її подальше перевантаження у транспортні засоби. Окремі технологічні рішення можуть передбачати безпосереднє переміщення породи у відвали або на склади перевантаження. Реалізація цих процесів покладається на виймальні машини, які за принципом функціонування класифікуються на устаткування циклічної та безперервної дії.

Визначальною ознакою машин циклічної дії є наявність одного робочого органа (ковша), що функціонує в дискретному режимі. Процес роботи таких машин складається з окремих фаз: впровадження у масив, наповнення, переміщення до місця розвантаження та спорожнення. До цього класу

обладнання належать одноківшеві екскаватори, фронтальні навантажувачі, бульдозери та скрепери.

Ефективне проєктування виймальних робіт вимагає забезпечення високого ступеня синхронізації навантажувальної техніки з транспортними ланками або приймальними пунктами. Практика розробки залізрудних родовищ підтверджує, що найбільш адаптивним та надійним типом машин для складних гірничо-геологічних умов є одноківшеві екскаватори (механічні лопати).

Технологічний цикл одноківшевого екскаватора являє собою суворо регламентовану послідовність операцій: черпання породи, поворот до транспортного засобу, розвантаження та повернення ковша у вихідне положення для нового циклу. Враховуючи циклічний характер роботи, критично важливим етапом проєктування є розрахунок змінної експлуатаційної продуктивності навантажувального обладнання.

«Експлуатаційна продуктивність екскаватора у зміну визначається за формулою:

$$Q_e = [(3600 * E * k_n) / (t_{\text{ц}} * k_p)] * T * \eta, \text{ м}^3/\text{зміну} \quad (2.46)$$

де E – ємність ковша екскаватора, м^3 ;

k_n – коефіцієнт наповнення ковша;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість робочого циклу, с;

k_p – коефіцієнт розпушення породи;

T – тривалість робочої зміни, годин;

η – коефіцієнт використання екскаватора у часі» [15].

«Експлуатаційна продуктивність екскаватора складе» [20]:

по руді
$$Q^p_{\text{зм}} = \frac{3600 \times 10 \times 0,85}{36 \times 1,55} \times 12 \times 0,65 = 4277 \text{ м}^3 / \text{зм}$$

по розкриву
$$Q^{\text{ск}}_{\text{зм}} = \frac{3600 \times 10 \times 0,85}{36 \times 1,55} \times 12 \times 0,65 = 4277 \text{ м}^3 / \text{зм}$$

«Визначимо добову та річну продуктивність екскаватору:

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{зм}} \times n_{\text{зм}}, \text{ м}^3 / \text{доб} \quad (2.47)$$

де $n_{\text{зм}}$ - кількість змін на добу» [15].

для руди $Q_{доб} = 4277 \times 2 = 8555, м^3 / доб$

для скелі $Q_{доб} = 4277 \times 2 = 8555, м^3 / доб$

«Річна продуктивність екскаватору» [20]:

$$Q_p^{екс} = Q_{доб} \times T_p, м^3 / рік \quad (2.48)$$

по руді $Q_p^{екс} = 8555 \times 350 = 2994000 м^3 / рік$

по розкриву $Q_{ск}^{екс} = 8555 \times 350 = 2994000 м^3 / рік$

5. «Визначимо необхідну кількість екскаваторів:

$$N_e = \frac{A_p \times K_p}{Q_p}, шт \quad (2.49)$$

де A_p - річна продуктивність кар'єру, $м^3/рік$

K_n - коефіцієнт нерівномірності роботи кар'єру» [20]

по руді $N_e = \frac{10303000 \times 1,25}{2994000} = 4,3 шт$

по розкриву $N_e = \frac{25500000 \times 1,25}{2994000} = 10,65 шт$

«Інвентарна кількість екскаваторів:

$$N = N_e \times K_{рез}, шт \quad (2.50)$$

де $K_{рез}$ - коефіцієнт резерву» [15]

по руді $N = 4,3 \times 1,2 = 5,2 \approx 6(шт)$

по розкриву $N = 10,65 \times 1,2 = 12,8 \approx 13(шт)$

6. Визначимо необхідну кількість бульдозерів» [15]:

$$N_{буль} = 0.3 \times N_{инв}, шт. \quad (2.51)$$

по руді $N_{буль} = 0.3 \times 6 = 1,8 \approx 2 шт.$

по розкриву $N_{буль} = 0.3 \times 13 = 3,9 \approx 4 шт.$

2.5 Транспортування кар'єрних вантажів

2.5.1 Транспортування гірничої маси залізничним транспортом

Ключова роль кар'єрного транспорту полягає у забезпеченні безперервного зв'язку між виймальними вибоями та кінцевими пунктами призначення гірської маси — збагачувальними фабриками або зовнішніми відвалами. Цей технологічний етап є сполучною ланкою, що визначає ритмічність усіх наступних виробничих процесів. Значущість транспортної системи підтверджується її високою капіталомісткістю: витрати на переміщення вантажів та утримання дорожньої інфраструктури складають значну частку загальної собівартості видобутку корисної копалини, досягаючи 45–50%.

У сучасній практиці відкритої розробки родовищ домінують великовантажний автомобільний транспорт та залізничні перевезення, що можуть функціонувати як автономно, так і в межах інтегрованих комбінованих схем. Проектне обґрунтування вибору конкретного виду транспорту базується на комплексному аналізі низки факторів: фізико-механічних властивостей порід, просторової морфології покладу, кліматичних умов регіону, планового вантажообігу та віддаленості пунктів розвантаження. Також враховується технічна сумісність із навантажувальним обладнанням та загальний термін експлуатації гірничого об'єкта.

Застосування залізничного транспорту є раціональним на великомасштабних родовищах із протяжними трасами, де дальність відкатки перевищує межу 7–10 км. Технічну базу залізничного комплексу становлять спеціалізовані вагони-самоскиди (думпкари) вантажопідйомністю від 60 до 180 тонн. Найбільша економічна ефективність такої схеми досягається при плечі транспортування понад 20–25 км. Для виконання маневрових робіт та подолання значних ухилів усередині кар'єрного простору зазвичай використовують потужні тягові агрегати або маневрові тепловози.

На кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» реалізовано комбіновану транспортну схему, що дозволяє оптимізувати логістичні потоки залежно від глибини залягання порід. Розкриті породи, що залягають на верхніх ярусах (до горизонту -15 м),

відвантажуються безпосередньо у залізничний рухомий склад для подальшого переміщення на зовнішній відвал №2.

Технічне забезпечення залізничних перевезень на верхніх горизонтах базується на використанні тягових агрегатів змінного струму серії ОПЕ-1А. Для підвищення тягових характеристик та ефективності гальмування на похилих ділянках, агрегати експлуатуються у модифікації «Е+Д+М» (електровоз, дизельна секція та моторний думпкар).

Транспортування гірської маси виконується у вагонах-самоскидах (думпкарах) моделі 2ВС-105, корисна вантажопідйомність яких становить 105 тонн. Геометричні та технічні параметри залізничних колій у кар'єрі спроектовані з урахуванням специфіки важкого рухомого складу: керівний ухил магістральних шляхів прийнятий на рівні 40‰, що є нормативним показником для забезпечення безпечного руху потягів при подоланні значних перепадів висот.

2.5.2 Розрахунок кількості залізничного транспорту

1. «Визначаємо вагу причіпної частини потягу.

а) при сталому русі.

Вага причіпної частини потягу визначається за формулою:

$$Q = \frac{100 \cdot F - P(\omega_0 + i_p)}{\omega_0 + i_p}, \text{ т} \quad (2.52)$$

де F – розрахункова сила тяжіння агрегату при русі, яке встановилося, кН

$$F = 10 \cdot P \cdot \varphi_k \cdot \psi \quad (2.53)$$

P – вага тягового агрегату, т

φ_k – коефіцієнт зчеплення (при сталому русі та змінному струмі $\varphi_k = 0,22$)

ψ – коефіцієнт використання зчіпної ваги локомотива ($\psi=0,95$).

ω_0 – основний питомий опір руху потягу ($\omega_0=4,5$)

i_p – керівний уклін» [15].

$$F = 10 \cdot 360 \cdot 0,22 \cdot 0,95 = 752 \text{ кН}$$

$$Q = \frac{100 \cdot 752 - 360(4,5 + 40)}{4,5 + 40} = 1331, \text{ т}$$

б) «за умови руху з місця на керівному уклоні

Вага причіпної частини потягу визначається за формулою:

$$Q = \frac{100 \cdot F_{тр}}{100 \cdot a + \omega_0 + i_p + \omega_{тр}} - P, \text{ т} \quad (2.54)$$

де $F_{тр}$ – сила тяги, при русі з місця, кН.

$$F_{тр} = 10 \cdot P \cdot \varphi_k \cdot \psi \quad (2.55)$$

φ_k – коефіцієнт зчеплення (при русі з місця та змінному струмі $\varphi_k = 0,3$)

a – прискорення при русі з місця ($a = 0,03$)

$\omega_{тр}$ – додатковий питомий опір при русі з місця ($\omega_{тр} = 0,65$)» [21].

$$F_{тр} = 10 \cdot 360 \cdot 0,3 \cdot 0,95 = 1026 \text{ кН}$$

$$Q = \frac{100 \cdot 1166}{100 \cdot 0,03 + 4,5 + 40 + 0,65} - 360 = 1771, \text{ т}$$

Вагу причіпної частини потягу приймаємо рівною 1331 т.

2. «Визначаємо об'єм породи у думпкарі виходячи з повного використання його вантажопідйомності

$$V_{н.з.} = \frac{G_d}{\gamma}, \text{ м}^3 \quad (2.56)$$

де G_d – вантажопідйомність думпкара, т (для думпкарів 2ВС-105 $G_d = 105$ т)

γ – щільність породи, $\text{м}^3/\text{т}$ » [21].

$$V_{н.з.} = \frac{105}{2,6} = 40,4, \text{ м}^3$$

3. «Визначаємо об'єм породи у думпкарі виходячи з повного використання місткості кузова вагона:

$$V_{н.м.} = \frac{V_d \cdot \kappa_n}{\kappa_p}, \text{ м}^3 \quad (2.57)$$

де κ_n – коефіцієнт заповнення кузова вагона

κ_p – коефіцієнт розпушення

V_d – об'єм думпкару, м^3 » [15]

$$V_{н.м.} = \frac{50 \cdot 0,95}{1,55} = 30,6, \text{ м}^3$$

Приймаємо об'єм породи у думпкарі

$$V_{n.p.} = 30,6, \text{ м}^3$$

4. «Визначаємо вагу породи у думпкарі за формулою» [15]:

$$q_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot \gamma, \text{ т} \quad (2.58)$$

$$q_{\text{п}} = 30,6 \cdot 2,6 = 79,6 \text{ т}$$

5. «Визначаємо вагу завантаженого думпкару за формулою:

$$q_{\text{гр}} = q_{\text{п}} + q_{\text{т}}, \text{ т} \quad (2.59)$$

де $q_{\text{т}}$ – вага тари (вагона), т» [15]

$$q_{\text{гр}} = 79,6 + 50 = 129,6 \text{ т}$$

6. «Визначаємо кількість вагонів в потязі» [21]:

$$n_{\text{в}} = \frac{Q}{q_{\text{гр}}}, \text{ шт.} \quad (2.60)$$

$$n_{\text{в}} = \frac{1331}{129,6} = 10,27 \approx 10, \text{ шт.}$$

7. «Визначаємо корисну вагу потягу за формулою» [15]:

$$G_{\text{п}} = q_{\text{п}} \cdot n_{\text{в}}, \text{ т} \quad (2.61)$$

$$G_{\text{п}} = 79,6 \cdot 10 = 796, \text{ т}$$

8. «Визначаємо час рейсу локомотиво-потягу:

$$T_{\text{р.л}} = t_{\text{нав}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{оч}} + t_{\text{рух}}, \text{ хв} \quad (2.62)$$

де $t_{\text{нав}}$ - час навантаження потягу:

$$t_{\text{нав.}} = \frac{v \times n \times t_{\text{ц}} \times \kappa_{\text{р}}}{60 \times E \times \kappa_{\text{н}}}, \text{ хв.} \quad (2.63)$$

де v - об'єм одного думпкара, м^3 ;

n - число думпкарів у потязі;

$t_{\text{ц}}$ - тривалість екскаваторного циклу;

E - геометрична ємкість ковша екскаватора» [15].

$$t_{\text{нав.}} = \frac{30,6 \times 10 \times 36 \times 1,55}{60 \times 10 \times 0,85} = 33,48 \text{ хв.}$$

«Час розвантаження потягу.

$$t_{роз.} = t_{роз.д.} \times n \quad (2.64)$$

де $t_{роз.д.}$ - час розвантаження думпкара ($t_{роз.д.} = 2,5$ хв);

n - число думпкарів у складі» [15].

$$t_{роз.} = 2,5 \times 10 = 25 \text{ хв.} = 0,42 \text{ год}$$

$t_{рух}$ - «час руху приймаємо у відповідності до виду вантажу та відстані транспортування, хв.

$$t_{рух} = 60(2L/v), \text{ хв.} \quad (2.65)$$

де L - відстань транспортування, км;

v - швидкість руху, км/год» [15];

$$t_{рух} = 60(2 \cdot 8/25) = 38,4 \text{ хв}$$

$t_{оч}$ - «час простою локомотиво-потягу в очікування навантаження й розвантаження, хв. ($t_{оч} = 10$ хв).

Час рейсу складе» [15]

$$T_{р.л} = 33,48 + 25 + 10 + 38,4 = 106,9 \text{ хв} = 1,78 \text{ год}$$

9. «Визначимо продуктивність локомотиво-потягу:

а) добова продуктивність

$$Q_{лк} = \frac{T \times n_{г} \times V_n}{T_{р.л}}, \text{ м}^3 / \text{доб}, \quad (2.66)$$

де T - час роботи локомотивів у добу ($T = 22$ години)» [15];

$$Q_{лк} = \frac{22 \cdot 10 \cdot 30,6}{1,8} = 3779 \text{ м}^3 / \text{доб}$$

«Визначаємо річну продуктивність:

$$Q_{річ.л.к} = Q_{лк} \cdot T_p, \text{ м}^3 / \text{рік} \quad (2.67)$$

де T_p - число робочих днів у році, днів» [19]

$$Q_{річ.л.к} = 3779 \cdot 350 = 1322000, \text{ м}^3 / \text{рік}$$

«Визначимо робочий парк локомотивів:

$$N_{роб} = \frac{f \cdot A_{річ.}}{Q_{річ.л.к}}, \text{ шт.} \quad (2.68)$$

де $f=1,25$ - коефіцієнт нерівномірності руху.

$A_{річ}$ – річна продуктивність кар'єру по типам порід, $m^3/рік$ » [15]

$$N_{роб}^H = \frac{1,25 \cdot 25,5 \cdot 10^6}{1322000} = 25 \text{ шт.}$$

«Загальна робоча кількість локомотивів визначається за формулою» [15]:

$$N_{роб}^3 = N_{роб}^H + N_{роб}^C \quad (2.69)$$

$$N_{роб}^3 = 25 \text{ шт}$$

«Визначаємо число локомотивів, які знаходяться в ремонті» [15]:

$$N_{рем} = 0,15 \cdot N_{роб} , \text{шт.} \quad (2.70)$$

$$N_{рем} = 0,15 \cdot 25 = 4 \text{ шт.}$$

«Резервний парк складе» [15]:

$$N_{рез} = 0,15 \cdot N_{роб} , \text{шт.} \quad (2.71)$$

$$N_{рем} = 0,15 \cdot 25 = 4 \text{ шт.}$$

Для господарських робіт приймаємо 1 локомотив.

«Визначаємо локомотивний парк кар'єру» [15]:

$$\sum N = N_{роб} + N_{рем} + N_{рез} + N_{хоз} , \text{шт.} \quad (2.72)$$

$$\sum N = 25 + 4 + 4 + 1 = 34 \text{ шт.}$$

«Визначаємо інвентарний парк думпкарів:

$$N_{\partial} = N_{роб} \cdot n \cdot \kappa_{\partial} , \text{шт.} \quad (2.73)$$

де n - число думпкарів у потязі, шт

$N_{роб}$ - робочий парк локомотивів, шт

κ_{∂} – коефіцієнт, який враховує думпкари, що знаходяться в ремонті» [15].

$$N_{\partial} = 34 \cdot 10 \cdot 1,25 = 425 \text{ шт.}$$

2.5.3 Розрахунок пропускної та провізної здатності залізничної колії

«Пропускна здібність однолінійного перегону визначається за формулою» [22]:

$$N = \frac{60 \times T}{t_g + t_{nop} + 2\lambda} \text{ пар поїздів за добу} \quad (2.74)$$

де T – «кількість годин роботи транспорту за добу, год. $T=22$ години.

t_g, t_{nop} - час руху поїзду до перегону відповідно у вантажному та порожньому напрямках, хв.

λ - час на зв'язок між роздільними пунктами» [22].

$$N = \frac{60 \times 22}{2 + 2} = 330 \text{ пар поїздів за добу}$$

«Провізна здатність визначається за формулою:

$$M = \frac{N \times n \times q}{f} = m / \text{добу} \quad (2.75)$$

де n – кількість вагонів в составі, шт.

q – вантажопідйомність думпкара, т

f – коефіцієнту нерівномірності руху залізничного транспорту» [22].

$$M = \frac{330 \times 10 \times 105}{1,2} = 288750 \text{ т/добу}$$

2.5.4 Транспортування гірничої маси автомобільним транспортом

У структурі вантажообігу вітчизняних гірничо-збагачувальних комбінатів провідну роль стабільно відіграє технологічний автотранспорт. Його домінування зумовлене високою експлуатаційною мобільністю та здатністю до швидкої адаптації в умовах динамічної зміни геометрії робочих горизонтів. Основу парку складають спеціалізовані кар'єрні самоскиди, які є ключовим елементом екскаваторно-автомобільних комплексів.

Економічна доцільність застосування автотранспорту досягається при річній інтенсивності перевезень у межах 15–20 млн тонн та плечі транспортування, що не перевищує 4–5 км. Водночас самоскиди є незамінними під час проведення гірничо-капітальних робіт незалежно від загальної стратегії підприємства. Їх використання також є технологічно виправданим на родовищах зі складною морфологією покладів, у кар'єрах з обмеженим терміном служби або як гнучка сполучна ланка в межах комбінованих циклічно-потоківих схем.

Складні умови експлуатації в глибоких кар'єрах висувають підвищені вимоги до конструктивної надійності та потужності силових агрегатів техніки. Сучасні кар'єрні машини проєктуються з урахуванням необхідності подолання значних ухилів та забезпечення високої вантажопідйомності при інтенсивному графіку роботи.

На промисловому майданчику кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» технологічний процес переміщення гірської маси від робочих вибоїв до вузлових точок перевантаження та концентраційних горизонтів забезпечується парком великовантажних автосамоскидів. Для виконання цих операцій задіяні машини моделей БЕЛАЗ-75145 та БЕЛАЗ-75131, вантажопідйомність яких становить 120 та 130 тонн відповідно.

Згідно з прийнятою стратегією розробки глибинних зон, транспортування рудної сировини з нижніх ярусів кар'єру здійснюється за комбінованою схемою. Первинна доставка руди автомобільним транспортом виконується до спеціалізованих концентраційних горизонтів, які є частиною потужних циклічно-потоків комплексів. Зокрема, сировина направляється на:

- горизонти -60 м та -240 м, що обслуговуються конвеєрним трактом «Південний»;
- концентраційний горизонт -180 м, який також інтегрований у систему конвеєрного транспорту «Південний».

Така дворівнева система дозволяє мінімізувати відстань відкатки для автосамоскидів у глибокій чаші кар'єру, передаючи основний обсяг вантажопотоку на більш економічно ефективний конвеєрний транспорт для виходу на денну поверхню.

2.5.5 Характеристика порівнювальних варіантів

У межах представленої роботи здійснено порівняльний аналіз ефективності двох варіантів автомобільного транспортування гірничої маси:

Варіант І. Вивезення породи автосамоскидами БЕЛАЗ-75131 номінальною вантажопідйомністю 130 т.

Варіант II. Застосування для виконання транспортних операцій самоскидів Komatsu 730E-10, що мають вантажопідйомність 181 т.

2.5.6 Визначення кількості автосамоскидів

I варіант

1. «Визначення часу рейсу самоскиду за виразом:

$$T_{\text{рейс}} = t_n + t_p + t_m + t_{\text{чек}} + t_{\text{рух}}, \text{ хв} \quad (2.76)$$

де t_n - час навантажування самоскиду:

$$t_n = t_u \cdot n_k \quad (2.77)$$

n_k - число ковшів, які завантажуються в самоскид» [15];

2. «Час навантаження автосамоскида

- у першому випадку час навантажування визначається вантажопідйомністю машини Q :

$$t_n = \frac{Q \cdot \kappa_p}{E \cdot \rho \cdot \kappa_n} t_u, \text{ сек} \quad (2.78)$$

де Q - вантажопідйомність самоскиду, т;

E - ємкість ковша, м³;

ρ - щільність породи;

κ_p - коефіцієнт розпушення» [15]

$$t_n = \frac{130 \cdot 1,55}{10 \cdot 3,3 \cdot 0,85} 36 = 259 \text{ сек}$$

- «у другому випадку час навантажування визначається місткістю кузова автосамоскида V_a :

$$t_n = \frac{V_a \kappa_p}{E \cdot \kappa_n} \cdot t_u, \text{ сек}, \quad (2.79)$$

де Q - вантажопідйомність самоскиду, т; E - місткість ковша екскаватора, м³; V_a

- місткість кузова з "шапкою", яка по розрахунках складає $1,05 \div 1,25$ геометричної місткості кузова, м³» [15].

$$t_n = \frac{53,5 \cdot 1,55}{10 \cdot 0,85} \cdot 36 = 351 \text{ сек}$$

«З двох значень приймаємо менше тобто» [23]

$$t_n = 259 \text{ сек.}$$

3. «Час чекання визначаємо по формулі:

$$t_{чек} = 0,5(t_n + t_p), \quad (2.80)$$

де t_p - час розвантаження, $t_p = 90$ сек» [15].

$$t_{чек} = 0,5(259 + 90) = 175$$

4. «Час руху самоскидів визначиться:

$$t_{рух} = 60 \frac{2 \cdot L_{mp}^6}{V_{cp}}, \text{ хв.} \quad (2.81)$$

де L_{mp}^6 - відстань транспортування за відповідними вантажопотоками, км;

V_{cp} - середня швидкість руху (для самоскида БЕЛАЗ-75131 середня швидкість складає 20 км/годину).

Час руху самоскидів складе» [15]:

$$t_{рух} = 60 \frac{2 \cdot 3,2}{20} = 19,2 \text{ хв.} = 1152 \text{ сек}$$

5. «Час на маневри складає 110 сек.

Час рейсу самоскиду за вантажопотоками складе» [15]:

$$T_{рейс} = 259 + 90 + 175 + 110 + 1152 = 1786 \text{ сек} = 29,8 \text{ хв}$$

6. «Визначимо кількість рейсів автосамоскиду протягом зміни:

$$N_p = \frac{60 \cdot T_{зм}}{T_{рейс}} \times k_{вик}, \text{ рейсів} \quad (2.82)$$

де $T_{зм}$ – тривалість зміни, 12 годин;

$k_{вик}$ – коефіцієнт використання автосамоскидів у часі, $k_{вик} = 0,75$ » [23].

тоді

$$N_p = \frac{60 \cdot 12}{29,8} \times 0,75 = 18,1 \approx 18 \text{ рейсів}$$

7. «Визначимо середню експлуатаційну продуктивність автосамоскидів:

$$P_{зм} = (N_p * Q) / \rho, \text{ м}^3/\text{зміну} \quad (2.83)$$

де Q – вантажопід'ємність автосамоскиду;

ρ – питома вага, $\text{т}/\text{м}^3$ » [15].

$$P_{зм} = (18 * 130) / 3,3 = 709 \text{ м}^3/\text{зміну}$$

8. «Визначимо добову продуктивність автотранспорту:

$$P_{доб} = P_{зм} * n_{зм}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.84)$$

де $n_{зм}$ – кількість змін на добу, $n_{зм} = 2$ » [15].

$$P_{доб} = 709 * 2 = 1418 \text{ м}^3/\text{добу}$$

9. «Річна продуктивність автотранспорту визначається за формулою:

$$P_{річ} = P_{доб} * T_p, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.85)$$

де T_p – число робочих днів у році, днів» [15]

$$P_{річ} = 1418 * 350 = 496000 \text{ м}^3/\text{рік}$$

10. «Кількість автомашин, що обслуговують один екскаватор:

$$N_{авт} = \frac{T_p}{t_n}, \text{ машин} \quad (2.86)$$

Робоча кількість визначається за формулою:

$$N_p = \frac{A}{P_{річ}}, \text{ шт} \quad (2.87)$$

$$N_p = \frac{10303000}{496000} = 20,8 \text{ шт}$$

11. Інвентарний парк самоскидів складе:

$$N_{інв} = \frac{\sum N_{роб}}{\tau}, \text{ шт} \quad (2.88)$$

де τ – коефіцієнт технологічної готовності самоскидів, $\tau = 0,7-0,9$ » [15];

$$N_{інв} = \frac{20,8}{0,8} = 26 \text{ шт.}$$

II варіант

2. «Час навантаження автосамоскида

- у першому випадку час навантажування визначається вантажопідйомністю машини» [15] Q :

$$t_n = \frac{181 \cdot 1,55}{10 \cdot 3,3 \cdot 0,85} \cdot 36 = 360 \text{ сек}$$

- «у другому випадку час навантажування визначається місткістю кузова автосамоскида» [15] V_a :

$$t_n = \frac{76 \cdot 1,55}{10 \cdot 0,85} \cdot 36 = 499 \text{ сек}$$

З двох значень приймаємо менше тобто

$$t_n = 360 \text{ сек.}$$

3. «Час чекання визначаємо» [15]

$$t_{чек} = 0,5(360 + 60) = 210 \text{ , сек}$$

4. «Час руху самоскидів визначиться:

V_{cp} - середня швидкість руху (для самоскида Komatsu 730E-10 середня швидкість складає 24 км/годину).

Час руху самоскидів складе» [15]:

$$t_{рух} = 60 \frac{2 \cdot 3,2}{24} = 16 \text{ хв.} = 960 \text{ сек}$$

5. «Час на маневри складає 60 сек.

Час рейсу самоскиду за вантажопотоками складе» [15]:

$$T_{рейс} = 360 + 60 + 210 + 90 + 960 = 1680 \text{ сек} = 28 \text{ хв}$$

6. «Визначимо кількість рейсів автосамоскиду протягом зміни» [15]:

$$N_p = \frac{60 \cdot 12}{28} \times 0,75 = 19,3 \approx 19 \text{ рейсів}$$

7. «Визначимо середню експлуатаційну продуктивність автосамоскидів» [5]:

$$П_{зм} = (19 \cdot 181) / 3,3 = 1042 \text{ м}^3/\text{зміну}$$

8. «Визначимо добову продуктивність автотранспорту» [23]:

$$П_{доб} = 1042 \cdot 2 = 2084 \text{ м}^3/\text{добу}$$

9. «Річна продуктивність автотранспорту визначається» [23]

$$П_{річ} = 2084 \cdot 350 = 729000 \text{ м}^3/\text{рік}$$

10. «Робоча кількість визначається» [15]

$$N_p = \frac{10303000}{729000} = 14,1 \text{ шт}$$

11. «Інвентарний парк самоскидів складе» [15]:

$$N_{inv} = \frac{14,1}{0,8} = 18 \text{ шт.}$$

2.5.7 Пропускна та провізна здатність автодоріг

«Розраховуємо пропускну здатність автодоріг:

Годинна пропускна здатність визначається за виразом:

$$N = \frac{1000 * v * n}{S} f, \text{шт} \quad (2.89)$$

де v – швидкість руху автосамоскиду, км/год

$n = 1$ - число смуг руху в одному напрямку, шт.

S – допустимий інтервал між машинами, м» [22].

$$N = \frac{1000 * 20 * 1}{60} 0.75 = 250 \text{ шт}$$

«Проектна годинна провізна здатність технологічних автошляхів у кар'єрі (M) відображає максимальний обсяг гірничої маси, який може бути транспортований цією ділянкою за одну годину. Ця величина безпосередньо обумовлюється пропускну здатністю самої траси (N) – тобто тим, яку кількість одиниць техніки вона здатна безпечно пропустити за вказаний час. Крім цього, базовими даними для розрахунку виступають паспортна вантажопідйомність експлуатованого парку автосамоскидів (q_a) та коефіцієнт фактичного використання цієї вантажопідйомності під час екскавації ($k_{ван}$). Безпосереднє обчислення даного показника здійснюється за такою залежністю» [22]:

$$M = N \times q_a \times k_{ван} = m / \text{добу} \quad (2.90)$$

$$M = 250 \times 130 \times 0,9 = 29250 \text{ т / добу}$$

2.6 Відвалоутворення розкривних порід

Процес відкритої розробки родовищ нерозривно пов'язаний із необхідністю переміщення та розміщення значних обсягів розкривних порід, що перекривають рудні поклади. Технологічний етап, що забезпечує планомірне та безпечне складування цієї нерудної маси, визначається як відвалоутворення.

З інженерної точки зору, відвал є штучно створеним техногенним масивом, структура якого має відповідати вимогам стійкості та екологічної безпеки. Відвальні роботи являють собою сукупність технологічних операцій з приймання гірської маси від транспортних засобів та її подальшого вкладання у насипний ярус.

Вибір механізації для облаштування відвалів обумовлюється характеристиками розкривних порід (гранулометричним складом, вологістю), інтенсивністю вантажопотоку та типом магістрального транспорту. У системах із залізничною відкаткою домінуючим методом є екскаваторне відвалоутворення, яке забезпечує обробку до 85–90% обсягів розкриву. Технологічний цикл у цьому випадку передбачає розвантаження думпкарів уздовж фронту приймальних колій з подальшою переeksкавацією маси одноківшеvim екскаватором углиб ярусу, що дозволяє планомірно збільшувати ємність відвалу.

Для технічного забезпечення відвальних робіт на підприємстві використовуються кар'єрні гусеничні екскаватори моделей ЕКГ-10. Ці машини здійснюють приймання розкривних порід із залізничного складу та їх подальше переміщення у відвальний масив.

Важливою інженерною особливістю транспортної інфраструктури ПрАТ «ІнГЗК» є повна електрифікація колійного господарства. Електрична мережа охоплює всі ключові ділянки: внутрішньокар'єрні шляхи, транспортні комунікації на відвалах, а також залізничні лінії, що прокладені вздовж дамби шламосховища. Таке рішення дозволяє забезпечити високу енергоефективність транспортування та стабільну роботу тягових агрегатів на всіх етапах переміщення гірничої маси.

2.6.1 Розрахунок параметрів екскаваторного відвалоутворення

«Розрахунок екскаваторного відвалоутворення виконаємо для варіанту укладання розкриву з застосуванням екскаватору ЕКГ-10

1. Приймальна спроможність відвального тупику між двома пересувами шляхів.

$$V_{в.м.} = \frac{h_o \times A_o \times L_{от}}{\kappa_p} \quad (2.91)$$

де h_o – висота відвального уступу, м.

A_o - крок пересуву відвального шляху, м

κ_p – коефіцієнт розпушення порід у відвалі

$L_{от}$ – довжина відвального тупика, м

$$A_o = (R_{ч} + R_p) \kappa_{п} \quad (2.92)$$

$R_{ч}$ – радіус черпання екскаватора, м

R_p – радіус розвантаження екскаватора, м

$\kappa_{п}$ – коефіцієнт використання лінійних параметрів екскаватора» [24]

$$A_o = (16,8 + 12,5) 0,85 = 24,9 \text{ м}$$

$$V_{в.м.} = \frac{20 \times 24,9 \times 1200}{1,55} = 385626 \text{ м}^3$$

2. «Тривалість роботи (діб) відвального тупика між двома пересуваннями шляху:

$$t_{p.m.} = \frac{V_{о.м.}}{V_o} \quad (2.93)$$

де V_d – добова приймальна здатність відвального тупика, м^3 .

$$V_o = n_c \cdot n_g \cdot q_z \cdot \frac{1}{\rho} \quad (2.94)$$

де n_b – кількість вагонів у потязі, шт..

$q_{п}$ - вага породи у думпкарі, т

ρ – щільність порід, т/м^3 .

n_c – кількість локомотиво-потягів, які можливо розвантажити за добу, шт.

$$n_c = \frac{\kappa_{н.р.} \cdot T_c}{(t_o + t_p)} \quad (2.95)$$

$\kappa_{н.р.}$ – коефіцієнт, який враховує нерівномірність роботи транспорту

T_c – кількість годин роботи тупика на добу ($T_c = 22$ год)

t_p – тривалість розвантаження локомотиво-потягу, хв» [24].

$$t_p = n_b \cdot t_b \quad (2.96)$$

$$t_p = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ хв} = 0,2 \text{ год}$$

t_o – «тривалість обміну локомотиво-потягу на відвалі, сек.

$$t_o = \frac{2 \times L_o}{V} + \tau \quad (2.97)$$

де L_o – відстань від обмінного пункту до середини тупика, км» [24]

$$L_o = 0,5 \cdot L_{от} + 2 \cdot L_{потягу} \quad (2.98)$$

$$L_o = 0,5 \cdot 1,2 + 2 \cdot 0,19 = 0,98 \text{ км}$$

V – «середня швидкість на відвалі, км/год

τ – час на зв'язок при обміні, год» [6]

$$t_o = \frac{2 \times 0,98}{20} + 0 = 0,1 \text{ год} = 5,9 \text{ хв}$$

«Звідси кількість локомотиво-потягів, які можливо розвантажити за добу» [15].

$$n_c = \frac{1,15 \cdot 22}{(0,098 + 0,2)} = 85 \text{ шт}$$

«Добова приймальна здатність відвального тупика» [15]

$$V_o = 85 \cdot 10 \cdot 79,6 \frac{1}{2,6} = 25979 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

«Тоді тривалість роботи відвального тупика між двома пересуваннями шляху» [24]:

$$t_{p.m.} = \frac{385626}{25979} = 15 \text{ діб}$$

3. «Визначимо число працюючих відвальних тупиків за формулою:

$$N_{pm} = \frac{V_{д.р.}}{V_o} \quad (2.99)$$

де $V_{д.р.}$ – добовий об'єм розкриву, який поступає на відвал з кар'єру, м³/добу ($V_{д.р.} = 72857 \text{ м}^3/\text{добу}$)» [24].

$$N_{pm} = \frac{72857}{25979} = 2,8 \approx 3, \text{ шт}$$

4. «Визначимо добову продуктивність відвального екскаватора:

$$We = 3600 \cdot T \cdot E \cdot K_H \cdot K_{вик} / (t_{ц} \cdot K_p), \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.100)$$

де T – час роботи відвала на добу, $T = 22$ год.;

E – ємкість ковша екскаватора, $E = 10 \text{ м}^3$;

$t_{\text{ц}}$ – час робочого циклу екскаватора, сек.;

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання змінного часу» [15].

$$We = ((3600 * 10 * 0,85) / (36 * 1,55)) * 22 * 0,9 = 10858 \text{ м}^3/\text{добу}$$

«Визначимо число працюючих відвальних тупиків виходячи з продуктивності екскаватора» [24]:

$$N_{pm} = \frac{V_{\text{д.п.}}}{Q_{\text{екс}}} \quad (2.101)$$

$$N_{pm} = \frac{72857}{10858} = 7 \text{ шт}$$

«Виходячи з продуктивності екскаватора та числа працюючих відвальних тупиків необхідну кількість відвальних екскаваторів ЕКГ-10 приймаємо 7 шт.

5. Загальна кількість тупиків з урахуванням тупиків на яких проводиться пересування шляху:

$$N_{\text{заг}} = N_{pm} \left(1 + \frac{t_{\text{пер}}}{t_{p.m}} \right) \quad (2.102)$$

де $t_{\text{пер}}$ – кількість змін, використаних на пресування шляху відвального тупіку

6. Час на переукладку залізничного шляху:

$$t_{\text{пер}} = L_{\text{о.т}} / A_{\text{к}}, \text{ змін} \quad (2.103)$$

де $A_{\text{к}}$ – середня продуктивність шляхопереукладача, $A_{\text{к}} = 125 \text{ м/зм}$ » [24].

$$t_{\text{пер}} = 1200 / 125 = 9,6 \text{ змін}$$

$$N_{\text{заг}} = 3 \left(1 + \frac{9,6}{15} \right) = 5 \text{ шт}$$

Виходячи з розрахунків необхідну кількість відвальних екскаваторів ЕКГ-10 приймаємо 7 шт.

2.7 Рекультивація земель, порушених гірничими роботами

Відкритий спосіб розробки родовищ корисних копалин характеризується значним техногенним навантаженням на навколишнє природне середовище, що

насамперед проявляється у відчуженні та радикальній трансформації значних площ земельних ресурсів. Формування глибоких кар'єрних виїмок, розбудова масштабних зовнішніх відвалів розкривних порід, прокладання траншей та будівництво дамб шламосховищ неминуче призводять до повного знищення первинного ґрунтового-рослинного покриву та зміни гідрологічного режиму територій. З огляду на це, стратегічним обов'язком гірничодобувного підприємства є розробка та своєчасна реалізація комплексного проєкту рекультивації порушених земель.

З інженерно-екологічної та технологічної точок зору, рекультивація являє собою системний комплекс гірничотехнічних, інженерно-будівельних, меліоративних та біологічних заходів. Головна мета цього процесу зводиться до відновлення продуктивності порушених масивів, забезпечення їхньої геомеханічної стійкості, повернення в народногосподарський обіг та покращення загального екологічного балансу в зоні впливу гірничих робіт. Згідно з галузевими нормативними стандартами, відновлення земель здійснюється у два послідовні та тісно взаємопов'язані етапи: гірничотехнічний і біологічний.

Гірничотехнічний етап рекультивації. Ця стадія є фундаментальною базою для подальшого відновлення біоценозів і реалізується безпосередньо силами гірничодобувного підприємства як логічне продовження процесу відвалоутворення. Гірничотехнічний етап передбачає виконання значних обсягів земляних робіт із залученням важкої кар'єрної техніки (бульдозерів, скреперів, екскаваторів). До ключових технологічних операцій на цьому етапі належать:

- грубе та чистове планування поверхні відвальних ярусів для усунення просідань та нерівностей;
- виположування укосів відвалів до оптимальних кутів, що гарантують їхню стабільність, запобігають зсувним явищам та розвитку ерозійних процесів;
- терасування схилів та створення надійної системи інженерного водовідведення поверхневих стоків;
- рівномірне нанесення на сплановану поверхню потенційно родючих порід, а згодом — гумусованого (родючого) шару ґрунту (РШГ).

Окремої уваги заслуговує процес поводження з РШГ. На початкових етапах будівництва кар'єру та зовнішніх об'єктів родючий шар знімається скреперами і складається у спеціальні бурти для тривалого зберігання. Саме ця законсервована ґрунтова маса згодом використовується для перекриття токсичних або безплідних розкритих порід у верхній частині відвалу. Застосування технології селективного відвалоутворення дозволяє ще на стадії транспортування вкладати найбільш сприятливі для рослин суглинисті породи у верхні яруси техногенного масиву.

Біологічний етап рекультивації. Наступним кроком виступає біологічна рекультивація, головним завданням якої є відродження флори, фауни та запуск природних процесів ґрунтоутворення на підготовленому інженерному рельєфі. Цей етап включає комплекс агротехнічних та фітомеліоративних заходів. Залежно від фізико-хімічних властивостей складованих порід, їхньої кислотності (рН), токсичності, а також потреб конкретного регіону, обирається раціональний напрямок рекультивації.

У практиці відкритих гірничих робіт найчастіше реалізуються такі напрямки:

1. *Лісогосподарський:* передбачає висадку спеціально підібраних деревних та чагарникових порід (наприклад, акації білої, лоху вузьколистого, сосни), які відрізняються високою стійкістю до посухи та бідних субстратів. Коріння дерев додатково армує укоси відвалів.
2. *Санітарно-гігієнічний:* спрямований на швидку консервацію пилюючих поверхонь. Для боротьби з вітровою ерозією на діючих і відпрацьованих картах шламосховищ та зовнішніх відвалах активно застосовують методи гідропосіву багаторічних трав. Це дозволяє в короткий термін сформувати щільну дернину, яка надійно зв'язує поверхневий шар пилюватих фракцій.
3. *Водогосподарський та рекреаційний:* найчастіше застосовується для залишкового виробленого простору самого кар'єру. Після досягнення проєктної глибини та відпрацювання балансових запасів експлуатація об'єкта припиняється. Робота систем водовідливу зупиняється, що

призводить до поступового затоплення чаші кар'єру підземними та поверхневими водами. При цьому берегова лінія штучної водойми підлягає обов'язковому терасуванню та озелененню для запобігання обваленням.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що проєкт рекультивації є невід'ємним складником життєвого циклу будь-якого кар'єру. Своєчасне та якісне виконання рекультиваційних робіт виступає безальтернативним інструментом мінімізації техногенного впливу на біосферу, що дозволяє органічно реінтегрувати відпрацьовані промислові площі у природний ландшафт і забезпечити екологічну безпеку регіону на десятиліття вперед.

3 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Основні екологічні проблеми при відкритій розробці родовища корисних копалин

Відкритий спосіб видобутку корисних копалин, незважаючи на свою високу техніко-економічну ефективність, супроводжується інтенсивним антропогенним навантаженням на всі компоненти природного середовища. Функціонування гірничого підприємства неминуче призводить до глибокої трансформації літосфери, атмосфери, гідросфери та місцевих біоценозів.

Першочерговим наслідком гірничих робіт є радикальне порушення земельних ресурсів. Розбудова чаші кар'єру, формування зовнішніх відвалів розкривних порід та зведення дамб шламосховищ вимагають відчуження величезних територій із повним знищенням родючого ґрунтового покриву. Окрім прямого вилучення земель, переміщення колосальних обсягів гірської маси змінює природний напружено-деформований стан масиву. Це вивільняє приховану енергію надр і може провокувати геомеханічні ускладнення — зсуви укосів або просадки земної поверхні на прилеглих територіях.

У сфері охорони атмосферного повітря критичною проблемою є постійне пилогазоутворення. Найбільші обсяги викидів генеруються під час буровибухових робіт, які супроводжуються утворенням щільних пилових хмар та викидом газоподібних продуктів детонації. Додатковим і постійним фактором забруднення виступають вихлопні гази від потужного кар'єрного автотранспорту. Серйозну загрозу також становить вторинна вітрова ерозія: перенесення дрібнодисперсних частинок з оголених поверхонь відвалів та сухих пляжів хвостосховищ.

Вплив на гідросферу насамперед зумовлений процесом осушення кар'єрного поля. Робота систем водовідливу для підтримання сухих вибоїв призводить до штучного виснаження водоносних горизонтів і формування масштабної депресійної лійки. Це неминуче спричиняє обміління поверхневих водойм та зниження рівня ґрунтових вод у прилеглих населених пунктах.

Паралельно виникає ризик хімічного забруднення довкілля мінералізованими кар'єрними водами, які містять завислі речовини та нафтопродукти.

Крім того, гірничі роботи є джерелом потужного фізичного впливу — акустичного та сейсмічного забруднення. Промисловий шум від важкої техніки та сейсмічні коливання від масових вибухів руйнують звичні умови існування фауни, змушуючи тварин залишати санітарно-захисну зону підприємства.

З огляду на ці фактори, екологічна безпека сучасного кар'єру вимагає суворого дотримання природоохоронних заходів: застосування безтритилової вибухівки, регулярного зрошення автодоріг для пилопригнічення, ефективного очищення дренажних вод та обов'язкової рекультивації всіх порушених площ.

3.2 Технологічні заходи з охорони навколишнього середовища

Зменшення екологічного навантаження під час відкритої розробки родовищ потребує впровадження комплексу інженерних рішень, інтегрованих безпосередньо у виробничий цикл. Сучасна стратегія охорони довкілля на гірничому підприємстві базується на превентивному запобіганні забрудненню під час виконання основних технологічних процесів.

Охорона атмосферного повітря. Найбільшим викликом є пилогазоутворення. Під час виконання буровибухових робіт ефективним рішенням є перехід на екологічно безпечні безтритилові емульсійні вибухові речовини, що суттєво зменшує залпові викиди токсичних оксидів. Для пригнічення пилу під час масових вибухів застосовують гідрогелеву або водяну забійку свердловин. Локалізація вітрової ерозії на технологічних автошляхах та у вибоях забезпечується систематичним гідрозрошенням за допомогою спеціальних поливально-мийних машин. На вузлах перевантаження гірничої маси монтуються стаціонарні системи аспірації (циклони, рукавні фільтри).

Охорона водних ресурсів. Головний принцип водоохоронних заходів — запобігання скидам неочищених дренажних вод у відкриті водойми. Усі кар'єрні стоки спрямовуються до каскаду ставків-відстійників для гравітаційного осідання дрібнодисперсних завислих частинок та очищення від залишків нафтопродуктів. Сучасні гірничо-збагачувальні комплекси функціонують за

замкненим (оборотним) циклом: очищена вода не скидається в річкову мережу, а повторно використовується для технологічних потреб (полив доріг, гідротранспорт хвостів, збагачення руди).

Збереження земельних ресурсів. Щоб зменшити площі відчуження земель під зовнішні відвали, застосовують інтенсивні методи відвалоутворення: збільшення висоти відвальних ярусів та оптимізацію кутів їх укосів за умови збереження геомеханічної стійкості. За сприятливих гірничо-геологічних умов впроваджується технологія внутрішнього відвалоутворення — складування пустих порід безпосередньо у вироблений простір кар'єру. Обов'язковим етапом є випереджальне зняття та селективне складування родючого шару ґрунту (РШГ) у тимчасові бурти для подальшого використання під час біологічної рекультивації.

Зниження фізичного (сейсмічного) впливу. Для захисту прилеглих територій від сейсмічних ударів та повітряних хвиль під час проведення масових вибухів використовують мілісекундне короткоуповільнене підривання. Розділення загальної маси вибухівки на окремі порції, що детонують із мікрозатримками, кардинально знижує рівень сейсмічних коливань масиву. Зменшення шумового навантаження від роботи важкої техніки досягається шляхом формування захисних лісосмуг по периметру санітарно-захисної зони.

3.3 Система протиаварійного захисту і безпека праці на кар'єрі

Специфіка ведення відкритих гірничих робіт характеризується наявністю комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що вимагає беззаперечного дотримання галузевих нормативних актів з охорони праці. Стратегія управління безпекою на гірничодобувному підприємстві базується на функціонуванні комплексної Системи управління охороною праці (СУОП), яка регламентує організаційні та інженерно-технічні заходи для мінімізації ризиків виробничого травматизму.

Фундаментальною складовою безпеки є суворий контроль за виконанням буровибухових робіт. Проектування масових вибухів передбачає обов'язкове аналітичне визначення меж небезпечних зон за факторами розльоту шматків

породи, дії сейсмічних та ударних повітряних хвиль. Перед ініціюванням зарядів забезпечується повне виведення персоналу і гірничої техніки за контури небезпечної зони, а також виставляється багаторівневе оточення із застосуванням уніфікованої системи звукових і світлових сигналів.

Під час експлуатації виймально-навантажувального та транспортного устаткування особлива увага приділяється просторовій організації робочих майданчиків. Забороняється робота екскаваторів під козирками та нависями гірської маси, що можуть утворитися на верхній бровці уступу. Для запобігання з'їзду чи падінню великовантажних автосамоскидів з висоти ярусу, по всьому фронту розвантаження (на відвалах та перевантажувальних пунктах) формуються запобіжні породні вали нормативної висоти. Швидкісний режим на технологічних магістралях жорстко регламентується з огляду на поздовжні ухили, стан дорожнього полотна та умови видимості.

Невід'ємною ланкою протиаварійного захисту є безперервний геомеханічний моніторинг стану гірського масиву. Маркшейдерська та геологічна служби підприємства здійснюють систематичний інструментальний контроль за деформаціями бортів кар'єру, укосів робочих уступів і зовнішніх відвалів. Своєчасне виявлення візуальних ознак зсувних процесів або утворення тріщин (заколів) дозволяє оперативно призупинити гірничі роботи у потенційно небезпечній зоні та вжити заходів щодо безпечного примусового обвалення нестабільних ділянок масиву.

Окремим блоком виступають заходи з електробезпеки та протипожежного захисту. Усе пересувне кар'єрне електрообладнання (екскаватори, бурові верстати, насосні установки головного водовідливу) підлягає обов'язковому захисному заземленню, а стан ізоляції кабельних ліній регулярно перевіряється. Крім того, важка гірничотранспортна техніка в обов'язковому порядку оснащується бортовими автоматичними системами пожежогасіння, що дозволяє миттєво локалізувати займання в моторних відсіках до прибуття підрозділів воєнізованої гірничорятувальної частини (ВГРЧ).

3.4 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на відкритих гірничих роботах

Ведення відкритих гірничих робіт є складним виробничим процесом, який об'єктивно супроводжується впливом на персонал низки небезпечних та шкідливих факторів. Перші здатні спровокувати гостре травмування працівника, тоді як другі за умови тривалої систематичної дії викликають стійкі професійні захворювання.

Основну групу фізичних небезпек становить експлуатація великогабаритного гірничотранспортного устаткування. Рух кар'єрних автосамоскидів, тягових агрегатів та маневрування екскаваторів в обмеженому просторі робочих майданчиків створює постійний ризик наїздів або зіткнень. Не менш серйозною є геомеханічна загроза. Робота техніки поблизу брівок уступів завжди пов'язана з імовірністю раптового обвалення нависей гірської маси, утворення заколів чи навіть локальних зсувів бортів кар'єру. Окремо слід виділити небезпеку ураження електричним струмом, оскільки живлення більшості сучасних бурових верстатів та механічних лопат здійснюється від високовольтних мереж.

Серед шкідливих факторів домінуюче місце посідає несприятливий стан повітряного середовища. Інтенсивне механічне руйнування скельного масиву, проведення масових буровибухових робіт та постійна робота дизельних двигунів призводять до критичного пилогазоутворення. Дрібнодисперсний силікатний пил при тривалому вдиханні провокує важкі ураження легень (пневмоконіози), а продукти детонації та вихлопні гази забруднюють атмосферу вибою токсичними сполуками вуглецю й азоту.

Додаткове фізіологічне навантаження створюють підвищені рівні промислового шуму та загальної вібрації, джерелом яких виступають потужні силові агрегати гірничих машин. Ситуацію суттєво ускладнює вплив мікрокліматичних факторів, оскільки персонал працює просто неба. Робітники постійно зазнають впливу різких сезонних перепадів температур, атмосферних

опадів, підвищеної інсоляції влітку та специфічних аеродинамічних протягів у глибокій чаші кар'єру.

Комплексний аналіз та облік усіх цих факторів є обов'язковою умовою при складанні паспортів ведення гірничих робіт. Це дозволяє інженерно-технічному персоналу грамотно організовувати безпечні робочі зони та формувати надійну систему протиаварійного захисту підприємства.

3.5 Технічні та організаційні заходи безпеки

Система управління охороною праці на гірничодобувному підприємстві базується на комплексному впровадженні інженерних та адміністративних рішень. Їхня раціональна інтеграція дозволяє ефективно локалізувати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, забезпечуючи безаварійну експлуатацію кар'єру.

Організаційні заходи безпеки спрямовані на сувору регламентацію виробничих процесів і контроль за дисципліною. Базовим інструментом виступає виконання робіт виключно за затвердженими паспортами ведення гірничих і буровибухових робіт. До самостійної роботи допускаються лише особи, які пройшли фахове навчання, медичний огляд та повний комплекс інструктажів з охорони праці. Виконання завдань із підвищеним рівнем небезпеки регламентується системою нарядів-допусків. Невід'ємною організаційною складовою є безперервний маркшейдерсько-геологічний моніторинг за напружено-деформованим станом масиву, що дозволяє своєчасно прогнозувати утворення заколів чи розвиток зсувних процесів на бортах кар'єру.

Технічні заходи безпеки охоплюють практичні інженерні рішення щодо захисту персоналу та устаткування. На етапі проєктування та ведення робіт обов'язковим є формування нормативних запобіжних валів уздовж брівок уступів, транспортних берм та на відвальних майданчиках, що унеможливорює падіння техніки з висоти. Для профілактики електротравматизму все пересувне електрообладнання (екскаватори, бурові верстати) інтегрується в єдину мережу захисного заземлення з регулярним апаратним контролем опору ізоляції.

Безпека буровибухових робіт гарантується механізацією процесів заряджання, аналітичним розрахунком радіусів небезпечних зон та розгортанням

багаторівневої системи звукової й світлової сигналізації перед ініціюванням зарядів. Важка гірничотранспортна техніка в обов'язковому порядку оснащується бортовими системами автоматичного пожежогасіння. Водночас для мінімізації впливу шкідливих санітарно-гігієнічних факторів (пилу, вібрації, шуму) весь персонал стовідсотково забезпечується спеціалізованими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема протипиловими респіраторами, антивібраційними рукавицями та шумозахисними навушниками.

3.6 Пожежна безпека і заходи цивільного захисту

На гірничодобувних підприємствах із відкритим способом розробки питання пожежної безпеки та цивільного захисту є критично важливою складовою загальної системи безпечної експлуатації об'єкта. Специфіка гірничого виробництва передбачає роботу потужного енергоємного обладнання, використання високовольтних мереж, а також транспортування та зберігання значних обсягів паливно-мастильних матеріалів, що формує потенційні ризики виникнення пожеж та надзвичайних ситуацій.

Головними джерелами пожежної небезпеки в умовах кар'єру виступають моторні відсіки великовантажних автосамоскидів і тягових агрегатів, трансформаторні підстанції, маслостанції екскаваторів та конвеєрні магістралі дробильно-перевантажувальних пунктів. Для мінімізації цих ризиків реалізується комплекс інженерно-технічних заходів. Уся важка гірничотранспортна техніка (самоскиди, бурові верстати, механічні лопати) в обов'язковому порядку оснащується автономними системами пожежогасіння (порошковими або аерозольними), які здатні миттєво локалізувати займання в підкапотному просторі. На стаціонарних об'єктах промислового майданчика розгортається мережа протипожежних гідрантів, облаштовуються пожежні водойми та комплектуються щити з первинними засобами пожежогасіння. Виконання будь-яких вогневих робіт (газоелектрозварювання) у вибоях суворо регламентується та виконується виключно за нарядом-допуском.

Заходи цивільного захисту спрямовані на оперативне реагування та збереження життя персоналу у випадку масштабних техногенних аварій

(наприклад, катастрофічних зсувів бортів кар'єру) або природних катаклізмів. Фундаментальним документом, що регулює порядок дій у таких випадках, є План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС). Відповідно до його вимог, кар'єр та всі промислові зони покриваються централізованою системою звукового та радіоповіщення для негайного інформування працівників про загрозу.

Для забезпечення швидкої та безпечної евакуації робітників із глибокої чаші кар'єру проєктуються і постійно підтримуються в належному стані марковані пішохідні маршрути та запасні виходи на денну поверхню. У безпечних зонах підприємства облаштовуються спеціалізовані захисні споруди (укриття), укомплектовані резервними джерелами живлення, водою та медикаментами. Практична готовність підприємства до позаштатних ситуацій забезпечується постійною взаємодією диспетчерської служби з професійними підрозділами Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) та воєнізованими гірничорятувальними частинами (ВГРЧ). Для відпрацювання злагодженості дій персоналу та рятувальників регулярно проводяться навчальні тривоги безпосередньо на робочих горизонтах.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У межах кваліфікаційної роботи здійснено порівняльний аналіз ефективності двох варіантів автомобільного транспортування гірничої маси:

Варіант I. Вивезення породи автосамоскидами БЕЛАЗ-75131 номінальною вантажопідйомністю 130 т.

Варіант II. Застосування для виконання транспортних операцій самоскидів Komatsu 730E-10, що мають вантажопідйомність 181 т.

На основі зіставлення розрахункових показників роботи кар'єрного автотранспорту встановлено беззаперечну технологічну перевагу другого варіанта логістичної схеми, що ґрунтується на експлуатації великотоннажних самоскидів Komatsu 730E-10.

Аналіз хронометражу транспортного циклу свідчить, що попри об'єктивно більший час навантаження кузова підвищеної місткості (360 с проти 259 с у БЕЛАЗ-75131), вищі тягово-швидкісні характеристики Komatsu (середня швидкість 24 км/год проти 20 км/год) та скорочення витрат часу на маневрування і розвантаження дозволили зменшити загальну тривалість одного рейсу на 106 секунд. Завдяки інтенсифікації руху та значно вищій вантажопідйомності (181 т проти 130 т), експлуатаційна змінна продуктивність Komatsu 730E-10 сягає 1042 м³/зм, що майже в 1,5 раза перевищує аналогічний показник першого варіанта (709 м³/зм).

Зростання одиничної потужності машин у другому варіанті дає змогу кардинально оптимізувати кількісний склад транспортного парку підприємства. Для стабільного виконання планових обсягів вантажообігу достатньо сформувати інвентарний парк із 18 самоскидів Komatsu (з них 15 робочих), тоді як базова схема вимагає утримання 26 одиниць БЕЛАЗ-75131 (21 робочої). Таким чином, впровадження Варіанта II гарантує зниження транспортного навантаження на внутрішньокар'єрні магістралі та суттєве зменшення кількості задіяного обладнання.

Список використаних джерел

1. Icarte-Ahumada, G., Herzog, O. (2025). Intelligent scheduling in open-pit mining: A multi-agent system with reinforcement learning. *Machines*, 13(5):350. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines13050350>.
2. Le Gouill, C., Boyer, A. (2019). L'extractivisme minier « depuis le Nord »: Exploitations, régulations et oppositions dans le Copper State d'Arizona. *Écologie & Politique*, 59(2), 41–56.
3. Shade, L. (2015). Sustainable Development or Sacrifice Zone? Politics Below the Surface in Post-Neoliberal Ecuador. *The Extractive Industries and Society*, 2(4), 775–784.
4. Nel, A. (2015). The Choreography of Sacrifice. *Market Environmentalism, Biopolitics and Environmental Damage. Geoforum*, 65, 246–254.
5. Smith, J., Helfgott, F. (2010). Corporate Social Responsibility and the Perils of Universalization. *Anthropology Today*, 26(3), 20–23.
6. Hasözdemir, K., Meral, M., Kahraman, M.M. (2025). Revolutionizing open-pit mining fleet management: Integrating computer vision and multi-objective optimization for real-time truck dispatching. *Applied Sciences*, 15(9):4603. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15094603>.
7. Li, B. (2025). Optimization of open-pit mining planning based on particle swarm optimization and BP neural network. *Frontiers in Power and Energy Systems*, Vol. 2025. DOI: 10.23977/fpes.2025.040104.
8. Zhao, B., Xu, H. (2026). Optimal control for open-pit mine planning: A control parameterization approach. *Discrete & Continuous Dynamical Systems – Series S*. DOI: 10.3934/dcdss.2026039.
9. Findlay, L., Dimitrakopoulos, R. (2024). Stochastic optimization for long-term planning of a mining complex with in-pit crushing and conveying systems. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 41, 1677–1691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42461-024-01005-2>.

10. Noriega, R., Pourrahimian, Y. (2022). A systematic review of artificial intelligence and data-driven approaches in strategic open-pit mine planning. *Resources Policy*, 77:102727. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102727>.

11. Wang, Z., Yang, J., Liu, L. (2025). Coordination scheme for autonomous heterogeneous mining fleets at open pit mine intersections by proximal policy optimization. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 29. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12204-025-2814-8>.

12. E. Molina, P. Martinon and H. Ramírez. (2023). Optimal control approaches for open pit planning. *Optim. Eng.*, 24, 1381-1408. doi: 10.1007/s11081-023-09797-w.

13. F, Karo., et al. (2021) Review of solution methodologies for open pit mine production scheduling problem, *Int. J. Min. Reclam. Environ.*, 35, 564-599. doi:10.1080/17480930.2021.1888395.

14. J. Amaya, C. Hermosilla and E. Molina. (2021). Optimality conditions for the continuous model of the final open pit problem, *Optim. Lett.*, 15, 991-1007. doi: 10.1007/s11590-019-01516-8.

15. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційних бакалаврських робіт для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 184 Гірництво денної та заочної форм навчання / уклад.: К. О. Шмельцер, О. А. Темченко; Державний університет економіки і технологій, Навчально-науковий технологічний інститут, кафедра хімічних технологій та інженерії. – Кривий Ріг : ДУЕТ, 2026. – 64 с.

16. Гірнича справа / В. П. Нагорний, В. М. Глоба ; за ред. В. П. Нагорного ; НАН України, Ін-т геофізики ім. С. І. Субботіна. – Київ : Академ-періодика, 2014. – 215 с.

17. Відкриті гірничі роботи. Ч. І. Процеси відкритих гірничих робіт : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / О. О. Фролов, Т. В. Косенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 151 с.

18. Дриженко А. Ю. Відкриті гірничі роботи / А. Ю. Дриженко. – Дніпропетровськ : НГУ, 2014. – 590 с.
19. Собко Б. Ю. Буропідривні роботи на кар'єрах : навч. посіб. / Б. Ю. Собко, О. В. Ложніков, М. О. Чебанов ; М-во освіти і науки України, НТУ «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 213 с.
20. Симанович Г. А. Руйнування гірських порід вибухом : навч. посіб. / Г. А. Симанович, В. П. Меліхов. – Дніпропетровськ : НГУ, 2003. – 116 с.
21. Соколов В. В. Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. для ВНЗ / В. В. Соколов, Р. М. Терещук, О. Є. Григор'єв ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.
22. Коробійчук В. В. Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт : підручник / В. В. Коробійчук, В. О. Соколовський, С. С. Іськов. – Житомир : ЖДТУ, 2019. – 332 с.
23. Хохряков В. С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых : учеб. для техникумов / В. С. Хохряков. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1991. – 336 с.
24. Бизов В. Ф. Основи технології гірничого виробництва. Виробничі процеси : підруч. для вузів за напрямом «Гірництво» : у 14 т. Т. 4 / В. Ф. Бизов. – Кривий Ріг : Мінерал, 2000. – 247 с. – (Бібліотека гірничого інженера).
25. Григор'єв Ю.І., Луценко С.О., Швець Є.М. (2024). Динамічне проектування техніко-економічних показників відкритих гірничих робіт за допомогою нейромережевих технологій. *Mining Journal Review*, 2024. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.033>.
26. Jung, D., & Choi, Y. (2021). Systematic Review of Machine Learning Applications in Mining: Exploration, Exploitation, and Reclamation. *Minerals*, 11(2), 148. <https://doi.org/10.3390/min11020148>
27. Nazarenko, M. (2021). Global prospects of digitalization of mining enterprises with K-MINE. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 66, 72-80. doi: 10.33271/crpnmu/66.072.

28. Губіна В. Г. Залізорудна галузь України: стан та перспективи. Залізорудні родовища України: сучасні проблеми та перспективи розробки : матеріали конфер. 2024. С. 58–61.

29. 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 : матеріали конфер.* 2024. С. 45–48..

30. Жуков С. М. Технології рекультивації земель у гірничій галузі : навч. посібник. Дніпро : Університетська книга, 2021. 315 с.

31. Лавров С. Д., Іваненко П. О. Екологічна безпека гірничодобувної промисловості: підручник. Харків: Вид-во НТУ «ХПІ», 2022. 360 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок:
184-07д-д

Автор:
184-07д-д

Науковий керівник / Експерт:
Шмельцер К.О.

ІД документа:
334158388

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації:
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підпис:
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.



13594

Кількість слів



108014

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		11
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		135

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 (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/165606/%D0%9C%D0%80%D1%80%D1%82%D1%8F%D1%85%D1%96%97%D1%90%9F%D1%91%92%D1%93%D1%94%D1%95%D1%96%D1%97%D1%98%D1%99%D1%9A%D1%9B%D1%9C%D1%9D%D1%9E%D1%9F%D2%80%D2%81%D2%82%D2%83%D2%84%D2%85%D2%86%D2%87%D2%88%D2%89%D2%8A%D2%8B%D2%8C%D2%8D%D2%8E%D2%8F%D2%90%D2%91%D2%92%D2%93%D2%94%D2%95%D2%96%D2%97%D2%98%D2%99%D2%9A%D2%9B%D2%9C%D2%9D%D2%9E%D2%9F%D3%80%D3%81%D3%82%D3%83%D3%84%D3%85%D3%86%D3%87%D3%88%D3%89%D3%8A%D3%8B%D3%8C%D3%8D%D3%8E%D3%8F%D3%90%D3%91%D3%92%D3%93%D3%94%D3%95%D3%96%D3%97%D3%98%D3%99%D3%9A%D3%9B%D3%9C%D3%9D%D3%9E%D3%9F%D4%80%D4%81%D4%82%D4%83%D4%84%D4%85%D4%86%D4%87%D4%88%D4%89%D4%8A%D4%8B%D4%8C%D4%8D%D4%8E%D4%8F%D4%90%D4%91%D4%92%D4%93%D4%94%D4%95%D4%96%D4%97%D4%98%D4%99%D4%9A%D4%9B%D4%9C%D4%9D%D4%9E%D4%9F%D5%80%D5%81%D5%82%D5%83%D5%84%D5%85%D5%86%D5%87%D5%88%D5%89%D5%8A%D5%8B%D5%8C%D5%8D%D5%8E%D5%8F%D5%90%D5%91%D5%92%D5%93%D5%94%D5%95%D5%96%D5%97%D5%98%D5%99%D5%9A%D5%9B%D5%9C%D5%9D%D5%9E%D5%9F%D6%80%D6%81%D6%82%D6%83%D6%84%D6%85%D6%86%D6%87%D6%88%D6%89%D6%8A%D6%8B%D6%8C%D6%8D%D6%8E%D6%8F%D6%90%D6%91%D6%92%D6%93%D6%94%D6%95%D6%96%D6%97%D6%98%D6%99%D6%9A%D6%9B%D6%9C%D6%9D%D6%9E%D6%9F%D7%80%D7%81%D7%82%D7%83%D7%84%D7%85%D7%86%D7%87%D7%88%D7%89%D7%8A%D7%8B%D7%8C%D7%8D%D7%8E%D7%8F%D7%90%D7%91%D7%92%D7%93%D7%94%D7%95%D7%96%D7%97%D7%98%D7%99%D7%9A%D7%9B%D7%9C%D7%9D%D7%9E%D7%9F%D8%80%D8%81%D8%82%D8%83%D8%84%D8%85%D8%86%D8%87%D8%88%D8%89%D8%8A%D8%8B%D8%8C%D8%8D%D8%8E%D8%8F%D8%90%D8%91%D8%92%D8%93%D8%94%D8%95%D8%96%D8%97%D8%98%D8%99%D8%9A%D8%9B%D8%9C%D8%9D%D8%9E%D8%9F%D9%80%D9%81%D9%82%D9%83%D9%84%D9%85%D9%86%D9%87%D9%88%D9%89%D9%8A%D9%8B%D9%8C%D9%8D%D9%8E%D9%8F%D9%90%D9%91%D9%92%D9%93%D9%94%D9%95%D9%96%D9%97%D9%98%D9%99%D9%9A%D9%9B%D9%9C%D9%9D%D9%9E%D9%9F%20184.10	81 (0.6 %)

Д О В І Д К А

про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

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

*Оцінка ефективності використання великовантажних автосамоскидів у
кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК»*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Кулаков Костянтин Андрійович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 79 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 15,57 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК
(подальшого розгляду, друку,
 опублікування) *кафедри Хімічних технологій та інженерії*
 на засіданні _____

(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.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА
про підготовку здобувача

Кулаков Костянтин Андрійович
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність 184 Гірництво

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи Оцінка ефективності використання
великовантажних автосамоскидів у кар'єрі
ПрАТ «ІнГЗК»

Керівник кваліфікаційної роботи: PhD, Тіхлівець С.В.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Тіхлівець С.В.				
2	Основна частина	Тіхлівець С.В.				

Зав. кафедри _____

(підпис)

К.О. Шмельцер

(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

Здобувача вищої освіти Кулаков Костянтин Андрійович
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ГР-23ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Оцінка ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК»»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>79 стор.;</u>
таблиць	<u>1</u>
схем і рисунків	<u>-</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-. </u>

Якісні відмінності кваліфікаційної бакалаврської роботи:

Кваліфікаційну бакалаврську роботу виконано на актуальну тему.

Кваліфікаційна робота присвячена оцінці ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК». Запропоновано два варіанти автомобільного транспортування гірничої маси, виконано порівняльний аналіз при їхньому використанні. Визначено, що впровадження варіанту II гарантує зниження транспортного навантаження на внутрішньокар'єрні магістралі та суттєве зменшення кількості задіяного обладнання.

Недоліки кваліфікаційної бакалаврської роботи

Обмежено розглянуто технологічні ризики промислового застосування. У тексті є незначні похибки в оформленні графічного матеріалу та бібліографії. Автор не вказав екологічні наслідки від збільшення обсягів масових вибухів. Розрахунок ефекту від впровадження технології потребує більш детального обґрунтування

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної бакалаврської роботи, ступінь самостійності виконання, Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки,

Оцінено ефективність використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК»Здобувач Кулаков К.А. продемонстрував відповідальність

аналітичні здібності та вміння систематизувати зібрані дані, підводити підсумки. Працював за графіком без затримок.

Можливість використання кваліфікаційної бакалаврської роботи

Робота відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних робіт на першому (бакалаврському) освітньо-кваліфікаційному рівні може бути допущена до захисту на засіданні ЕК.

Оцінка кваліфікаційної бакалаврської роботи_____

Керівник Тіхлівець Сергій Вадимович

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, PhD

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« ____ » _____ 2026 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Кулаков Костянтин Андрійович

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ГР-23ск
Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Оцінка ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнгЗК»
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Оцінка ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнгЗК»
Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Робота присвячена вивченню технічних параметрів та умов експлуатації розробці заходів щодо покращення продуктивності великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнгЗК».
Проаналізовано інформація про геологічну будову Інгuleцького родовища, його технічних умов видобутку та умов експлуатації автосамоскидів.
<u>Особлива увага приділена умовам роботи та його технічним характеристика великовантажних автосамоскидів та вивчення ефективності їх використання. Оцінка ефективності їх використання підтверджуються документацією підприємства. Проведені дослідження показали необхідність моніторингу та оцінки ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрах «ІнгЗК», що забезпечує безпеки ведення гірничих робіт.</u>
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
<u>Слабко описані технологічні ризики застосування великовантажних автосамоскидів та їх вплив на екологічний стан навколишнього середовища. У тексті є незначні технічні помилки та неточності</u>
÷
Слабко проілюстрована почснювальна записка
Рекомендації: тема роботи є актуальною, має практичне значення, зроблені
принципового характеру та не впливають на загальну позитивну оцінку.
Робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент

(прізвище, ім'я та по-батькові)

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

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

Я, Кулаков Костянтин Андрійович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Оцінка ефективності використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК») 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