



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
«КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
Кафедра підземної розробки родовищ корисних копалин

**Лозний Єгор Олегович**

УДК 622

**Дослідження та удосконалення технології БВР в умовах високого  
гірського тиску**

Спеціальність 184 «Гірництво», спеціалізація «Підземна  
розробка родовищ корисних копалин»

Випускна робота  
на здобуття наукового ступеню магістра

Науковий керівник:  
д.т.н., Професор  
Калініченко Всеволод Олександрович,

Кривий Ріг  
2024

## **ЗМІСТ**

### **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОКЛАДІВ ЗАЛІЗНИХ РУД В НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВАХ**

**1.1. Загальні відомості про розробку рудних покладів в несприятливих умовах**

**1.2. Аналіз сучасних підходів до розробки рудних родовищ із недостатніми кутами залягання**

### **РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**2.1. Дослідження можливості інтенсифікації технологічних процесів випуску руди**

**2.2. Дослідження факторів, що безпосередньо впливають на якість видобутку корисних копалин**

### **РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОКЛАДІВ ЗАЛІЗНИХ РУД**

**3.1. Геологія шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка»**

**3.2. Методика визначення параметрів буро-підривних робіт з урахуванням НДС**

**3.3. Методика розрахунку параметрів буро-підривних робіт для свердловинної відбійки**

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

## Реферат

**Робота складена з: 68 с.; 15 рис.; 4 табл.; 17 джерел.**

Магістерська робота під назвою "Дослідження та удосконалення технології буро-підривних робіт (БВР) в умовах шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка»" присвячена аналізу та покращенню технологічних процесів видобутку залізної руди. Основна мета дослідження полягала у підвищенні ефективності видобування руди, а також оптимізації продуктивності робіт на гірничих підприємствах шляхом впровадження новітніх технологічних рішень. Особливу увагу було приділено факторам, які суттєво впливають на втрати корисних копалин, зокрема на лежачому боці рудного покладу.

У роботі використовувалися лабораторні методи дослідження з використанням аналогових матеріалів, що дало змогу моделювати процеси, які відбуваються під час видобутку руди. Для підтримки теоретичних аспектів дослідження було проведено аналіз понад 30 літературних джерел, що стосуються технологій відпрацювання рудних покладів з похилим заляганням. Такий підхід дозволив не лише зрозуміти сучасний стан технологій, але й виявити їхні слабкі сторони, що потребують вдосконалення.

Робота була адаптована до умов шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка», враховуючи специфіку гірничо-геологічних умов та методичні рекомендації для виконання кваліфікаційної роботи магістра за напрямом «Гірництво». Особлива увага була зосереджена на технологіях ведення очисних робіт у виймальних блоках, зокрема на лежачому боці, де зазвичай відбуваються найбільші втрати корисних копалин. Запропоновані вдосконалення мають на меті підвищення ефективності видобутку та зниження витрат.

Магістерська робота включає вступ, три основні розділи, висновки та список використаної літератури. У кожному з розділів розглядаються конкретні аспекти технологій видобутку руди, аналізується сучасний стан гірничих робіт на шахті «Ювілейна» та досліджуються можливості вдосконалення існуючих методів видобутку. Також у роботі наведено аналіз

наукових публікацій, що стосуються поліпшення технологій видобутку залізних руд в умовах недостатньо крутоспадних родовищ.

На основі проведеного аналізу було запропоновано дві технологічні схеми відпрацювання виймальних панелей на шахті «Ювілейна». Перша схема включає систему підповерхового обвалення руди, що дозволяє зменшити втрати корисних копалин та забезпечити підвищену безпеку робіт. Друга схема передбачає використання підповерхово-камерної системи розробки, яка базується на відбійці руди до вертикального компенсаційного простору із застосуванням глибоких свердловин. Обидві схеми були проаналізовані з точки зору техніко-економічних показників, таких як продуктивність, витрати на видобуток та безпека виконання робіт.

Запропоновані технологічні рішення свідчать про значний потенціал для покращення ефективності видобування руди на шахті «Ювілейна». Впровадження цих рішень дозволить зменшити вплив несприятливих факторів на процес видобування, а також підвищити економічну вигоду та відповідність сучасним вимогам безпеки і охорони праці.

## Вступ

У сучасних умовах експлуатації шахт Криворізького басейну активно застосовуються різноманітні модифікації камерних систем розробки, а також методи підповерхового обвалення як руди, так і вміщуючих порід. Ці технологічні підходи спрямовані на підвищення ефективності та продуктивності видобутку корисних копалин. Однак кожна з цих методик має свої специфічні обмеження та недоліки. Зокрема, вони часто не забезпечують достатньо високої інтенсивності відпрацювання покладів, особливо в умовах підвищеного гірського тиску, а також супроводжуються складнощами та ризиками, пов'язаними з підземним видобуванням.

Серед основних недоліків існуючих технологій можна виділити зростання витрат на підготовчі та нарізні роботи, збільшення використання вибухових матеріалів для відбійки руди, а також значну кількість ручної праці. Крім того, виникають технологічні труднощі під час формування очисних камер та при відбійці і випуску руди. Усі ці фактори негативно впливають на загальну продуктивність системи розробки, що врешті-решт призводить до підвищення собівартості видобутку руди.

Особливо гостро ці проблеми проявляються при розробці рудних покладів з недостатньо крутим кутом падіння ( $\alpha \geq 50^\circ$ ), зокрема багатих залізних руд. Існуючі системи розробки з обваленням руди та вміщуючих порід часто залишають значні втрати на лежачому боці покладу. Це означає, що суттєва частина запасів руди, розташована у так званій "мертвій зоні" лежачого боку, залишається невідпрацьованою, що може становити від 15 до 20% від загального обсягу запасів.

Сучасні технології випуску руди в рамках систем підповерхового обвалення не забезпечують ефективного зниження цих втрат. Тому виникає необхідність у розробці більш передових та удосконалених систем розробки, які б дозволили максимально ефективно вилучати запаси руди, зокрема з лежачого боку покладу.

Відтак, актуальним є питання розробки нових технологічних рішень для відпрацювання запасів руди, які безпосередньо контактують з лежачим боком недостатньо крутоспадних покладів. Це сприятиме підвищенню ефективності та якості видобутку залізної руди, а також зниженню втрат корисних копалин.

**Мета та завдання дослідження** Основною метою цієї магістерської роботи є визначення та обґрунтування оптимальної конструкції та параметрів підготовки шахтних блоків для ефективного відпрацювання залізних руд з недостатньо крутоспадних покладів, зокрема з лежачого боку. Для досягнення цієї мети передбачається вирішення низки ключових завдань:

- Аналіз науково-технічної літератури та передового досвіду з питань підземного видобутку заліза в умовах похилих рудних покладів. Це дозволить отримати глибоке розуміння сучасних методів та технологій, а також визначити напрями для їх удосконалення.
- Розробка нової схеми нарізки блоків, яка забезпечить оптимізацію процесу видобутку та знизить втрати руди на лежачому боці. Нова схема має враховувати особливості геологічної будови покладів та гірничо-геологічні умови експлуатації.
- Проведення порівняльного економічного аналізу між традиційними методами підготовки та відпрацювання шахтних блоків і запропонованою в цій роботі новою схемою. Це дозволить оцінити економічну доцільність впровадження нових технологій та їх вплив на собівартість видобутку.
- Практичне значення дослідження

Результати проведеного дослідження мають важливе практичне значення для гірничодобувної галузі. Зокрема, впровадження розроблених технологічних рішень дозволить:

- Знизити собівартість видобутку руди за рахунок оптимізації технологічних процесів, зменшення витрат на вибухові матеріали та зниження обсягів ручної праці.

- Суттєво скоротити втрати руди на лежачому боці, особливо в "мертвій зоні", яка раніше залишалася невідпрацьованою. Це призведе до збільшення коефіцієнта вилучення корисних копалин та підвищення ефективності експлуатації родовищ.
- Підвищити безпеку гірничих робіт шляхом впровадження більш досконалих методів відпрацювання, що зменшують ризики, пов'язані з підземним видобутком.

Актуальність даного дослідження зумовлена тим, що при відпрацюванні рудних покладів втрати на лежачому боці можуть досягати до 20% від загальних запасів. Це не лише економічно невигідно, але й нераціонально з точки зору використання природних ресурсів. Тому розробка та впровадження нових, більш ефективних методів розробки є нагальною потребою галузі.

Таким чином, проведені дослідження сприятиме вирішенню важливої науково-практичної проблеми, пов'язаної з підвищенням ефективності видобутку залізної руди з недостатньо крутоспадних покладів. Розроблені технологічні рішення дозволять оптимізувати процеси підготовки та відпрацювання шахтних блоків, знизити втрати корисних копалин та підвищити економічну ефективність гірничих підприємств.



# **Розділ І**

**АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОКЛАДІВ  
ЗАЛІЗНИХ РУД В НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВАХ**

## **1.1. Загальні відомості про розробку рудних покладів в несприятливих умовах**

У сучасній гірничодобувній промисловості підземний видобуток багатих залізних руд здебільшого здійснюється за допомогою підповерхових систем розробки з обваленням як руди, так і вміщуючих порід. Ці системи стали домінуючими у галузі, складаючи понад половину загального обсягу видобутку, і відіграють вирішальну роль в історії розвитку підземного гірництва.

Особливості підповерхових систем розробки системи розробки з обваленням руди та вміщуючих порід мають ряд характерних особливостей. Головною з них є те, що обвалену руду випускають з блоку під пустими налягаючими породами, які слідують за рудою у процесі випуску. Такий підхід дозволяє ефективно переміщувати відбиту руду за умови наявності бічного та верхнього контакту з порожнинами. Це забезпечує безперервність процесу та зменшує ризики, пов'язані з обваленням порід.

Ключові аспекти ефективності систем обвалення одним із найважливіших аспектів у системах обвалення є показники випуску руди. Вони залежать від множини факторів, включаючи геометрію та конфігурацію блоків, технологію проведення гірничих робіт, а також послідовність випуску обваленої руди. Оптимізація цих показників має на меті досягнення максимально можливої видачі руди при мінімальних витратах, що є критичним для економічної ефективності гірничого підприємства.

Проблеми при розробці крутоспадних покладів особливу увагу слід приділити випуску обваленої руди з крутоспадних покладів, де кут падіння  $\alpha$  становить  $50^\circ$  і більше. В таких умовах однією з основних проблем є значні втрати руди у так званій "мертвій" зоні на лежачому боці покладу. Розміри цієї зони залежать від кута нахилу рудного покладу та кута випуску відбитої руди. Контур "мертвої" зони обмежений зі сторони лежачого боку контактом руди з породами, а зі сторони висячого боку—твірною воронки випуску першого

ряду воронок. Додатково, зі сторони висячого боку цей контур може бути визначений як лінія під кутом випуску відбитої руди.

Об'єм "мертвої" зони можна розрахувати за формулою:

$$Q = \frac{h_n}{m \cdot tg^3 \cdot \alpha \cdot n_p},$$

де:

- Q—об'єм "мертвої" зони;
- $h_n$ —висота поверху;
- m—модуль крупності руди;
- $\alpha$ —кут падіння покладу;
- $n_p$ —кількість рядів випускних воронок на лежачому боці.

Згідно з дослідженнями, об'єм чистої руди, що залишається на лежачому боці, можна виразити як безрозмірну величину, яка залежить від кількості рядів випускних воронок при  $n_p$ .

Умовні втрати руди та їх оцінка при відпрацюванні рудних родовищ важливо враховувати відносні запаси руди, що потрапляють у "мертву" зону. Ці запаси вважаються умовними втратами і можуть бути кількісно оцінені за допомогою спеціальних формул. Для стійких порід висячого боку, які не обвалюються після випуску руди, умовні втрати розраховуються наступним чином:

- Для дрібнокускових руд:

$$V_d = 0,6 + 0,36 \cdot \lg Q$$

- Для крупнокускових руд:

$$V_k = 0,33 + 0,22 \cdot \lg Q$$

Якщо породи висячого боку обвалюються після випуску руди, формули мають вигляд:

- Для дрібнокускових руд:

$$V_d = 0,52 + 0,22 \cdot \lg Q$$

- Для крупнокускових руд:

$$V_k=0,65-0,04 \cdot \lg Q$$

Тут  $V_d$  та  $V_k$ —умовні втрати руди для дрібно-кускових та крупно-кускових руд відповідно.

Фактори, що впливають на обсяг втрат обсяг руди, що залишається в "мертвій" зоні лежачого боку, безпосередньо залежить від потужності рудного покладу та кута його падіння. В несприятливих умовах ці втрати можуть досягати значних розмірів, інколи до 50% від загальних запасів блоку або панелі. Такий високий рівень втрат підкреслює необхідність детального аналізу та оптимізації технологій відпрацювання з метою мінімізації втрат у "мертвій" зоні.

Аналіз досвіду та виявлення недоліків у рамках даного дослідження важливо врахувати накопичений досвід при відпрацюванні рудних покладів з лежачого боку. Необхідно також провести аналіз основних недоліків, які виникають при використанні систем підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід. Розуміння цих недоліків є критичним для вдосконалення технологічних процесів та підвищення ефективності видобутку.

Системи розробки в умовах Криворізького басейну у районі Кривого Рогу, який є одним із провідних центрів видобутку багатих залізних руд, широко застосовуються різні системи розробки покладів. Серед найбільш поширених методів можна виділити:

- Поверхово-камерні та підповерхово-камерні системи розробки. Ці методи дозволяють забезпечити оптимальний доступ до рудних ресурсів та ефективно відпрацювання покладів. Вони передбачають розділення покладу на окремі поверхи та камери, що дає можливість більш гнучко керувати процесом видобутку.
- Системи розробки підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід. Цей підхід включає обвалення руди та порід для подальшого вилучення корисних копалин. Він є ефективним у умовах, де неможливо застосувати інші методи через геологічні або гірничо-технічні обмеження.

Кожна з цих систем має свої унікальні особливості, переваги та недоліки. Поверхово-камерні системи дозволяють досягти високої селективності видобутку, але можуть бути обмежені в умовах нестабільних порід. Системи з обваленням руди та порід, навпаки, забезпечують високі обсяги видобутку при відносно низьких витратах, але супроводжуються значними втратами руди та потенційними ризиками для безпеки.

Розуміння цих аспектів та проведення глибокого аналізу є ключовими для розробки оптимальної стратегії відпрацювання покладів. Це включає в себе не лише вибір найбільш підходящої системи розробки, але й оптимізацію технологічних процесів, впровадження нових методів контролю та управління, а також постійний моніторинг ефективності та безпеки робіт.

Підвищення ефективності видобутку залізних руд в умовах несприятливих геологічних та гірничо-технічних умов вимагає комплексного підходу. Це включає в себе не лише вдосконалення існуючих технологій, але й розробку нових методів, які дозволять мінімізувати втрати руди, підвищити безпеку робіт та знизити собівартість видобутку.

Подальші дослідження в цій галузі можуть бути спрямовані на впровадження сучасних технологій моделювання та прогнозування, використання автоматизованих систем контролю, а також на розвиток нових матеріалів та обладнання, що здатні витримувати важкі умови підземних робіт.

Показники	Роки								
	1965	1970	1980	1986	1990	2000	2002	2009	2022
Середня глибина розробки, м	650	800	900	1000	1100	1200	1200	>1200	>1300
Камерні системи розробки, %	28,7	32,3	31,9	50,2	49,1	48,9	46,6	47	44,2
Системи під поверхового обвалення, %	77,2	71,9	57,1	52,8	48,7	50,4	54,3	53	56,8

Табл. 1.

Камерні системи розробки зазвичай застосовуються для руд, які мають принаймні середню міцність та стійкість, а також залягають у міцних і стійких породах. Ці системи передбачають відпрацювання крутих рудних тіл за допомогою камер, розташованих під захистом між камерних ціликів (МКЦ) і міжповерхових стелин. Основними перевагами такого підходу є низька собівартість процесу, висока продуктивність, а також досить високі показники ефективності вилучення відбитої руди з лежачого боку покладу. Це дозволяє значно знизити витрати на видобуток та підвищити загальну ефективність експлуатації родовища.

Однак, незважаючи на численні переваги, камерні системи мають і певні недоліки. Одним із основних є обмежені можливості селективного видобування руди з камер. Крім того, втрати і засмічення руди під час вилучення між камерних ціликів можуть значно збільшуватися, особливо коли видобуток ведеться під обваленими породами. Ці фактори ускладнюють процес видобування та впливають на кінцеві економічні показники проєкту.

Ключовим аспектом, що визначає ефективність випуску відбитої руди в рамках камерної системи, є співвідношення між кутом падіння покладу ( $\alpha$ ) та кутом природного відкосу відбитої руди ( $\varphi$ ). Якщо значення кута падіння ( $\alpha$ )

дорівнює або перевищує кут природного відкосу ( $\phi$ ), це створює сприятливі умови для більш ефективного вилучення руди, оскільки забезпечується оптимальний рух матеріалу під дією сили тяжіння.

З іншого боку, системи розробки з обваленням руди та налягаючих порід призначені для руд середньої або нижче середньої міцності та стійкості. Такі руди зазвичай мають нижчу економічну цінність, однак вони є ідеальними для однорідного видобутку без значної кількості пустих порід. Ці руди не схильні до злежування, окислення чи самозаймання, що робить їх зручними для розробки з використанням методів обвалення. Потужність таких рудних тіл може становити від 5 до 150-200 метрів і більше, при цьому кут падіння варіюється від 40 до 90 градусів.

Сутність систем з обваленням полягає в тому, що підготовлені ділянки рудного масиву обвалюються одночасно з відбійкою руди. Випуск руди здійснюється під налягаючими породами, які рухаються слідом за відбитою рудою і заповнюють відпрацьований простір. Це дозволяє зменшити витрати на утримання порожнин, що утворюються в процесі видобутку, та забезпечити безперервність технологічного процесу. Незважаючи на деякі обмеження, цей підхід є ефективним для розробки масивів значної товщини з використанням мінімальних витрат на підготовку й утримання виробок.

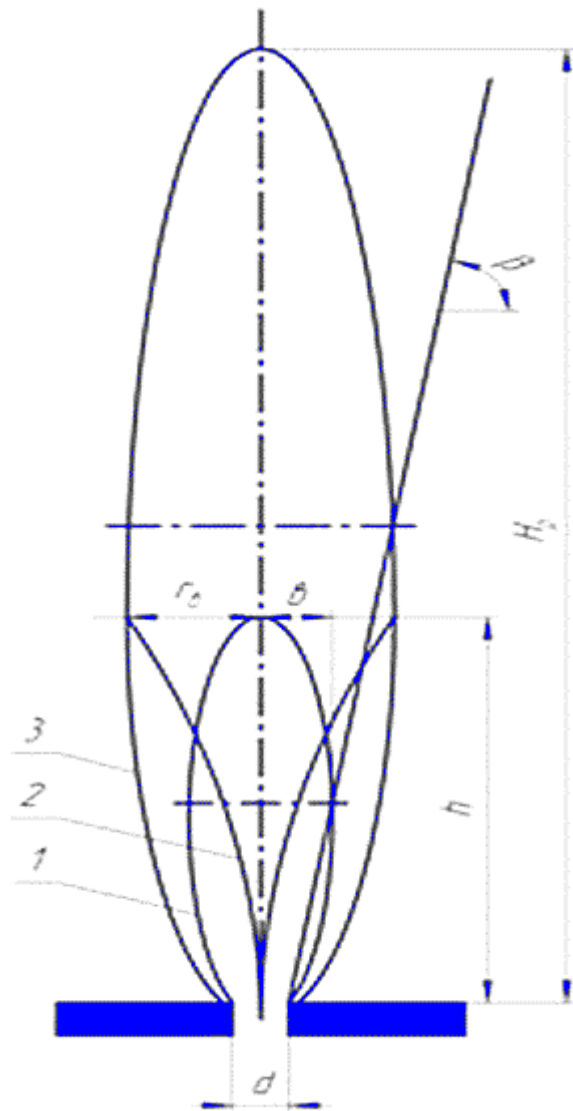


Рис. 1. - Випуск руди із випускного отвору: 1 – еліпсоїд чистої руди; 2 – воронка випуску руди; 3 – еліпсоїд розпушення корисної копалини [1]

$$Q = 0,524 h^3 (1 - \varepsilon^2) + 0,392 d^2 \cdot h, \quad \text{м}; \quad (1.3.1)$$

$$Q = 0,524 \left( \frac{h}{\text{tg}\beta} + d \right)^2, \quad \text{м};$$

(1.1.) де  $b$  – середній кут руху рудної маси при її випуску з гирла, град.

$$\text{tg}\beta = \frac{h}{1,38 \sqrt{\frac{Q}{h} - d}}; \quad (1.2)$$

– мала піввісь еліпсоїда випуску:



$$b \cong \frac{h}{2} \sqrt{1 - \varepsilon^2} ;$$

(1.3)

$$b = 0,5 \left( \frac{h}{\operatorname{tg} \beta} + d \right) , \text{ м};$$

(1.4)

Де відповідно:  $d$  – діаметр випускної воронки, м;

$\varepsilon$  – ексцентриситет еліпсоїди випуску;

$\beta$  – середній кут зміщення при випуску корисної копалини, град.

$$a \approx \frac{h}{2} , \text{ м};$$

(1.5)

У процесі розробки рудних покладів значну роль відіграють два основні параметри, позначені як  $\varepsilon$  та  $\beta$ , які слугують важливими індикаторами сипких властивостей обваленої руди. Ці параметри відображають сукупність характеристик, таких як гранулометричний склад, вміст дрібнодисперсних пилоподібних часток, рівень вологості, а також вплив гірського тиску. Їх визначення проводиться за допомогою ретельних досліджень і аналізу, що дозволяє отримати максимально точну інформацію про фізико-механічні властивості рудного матеріалу.

З практичної точки зору, для полегшення та спрощення процесу розрахунків, відбиту руду умовно поділяють на дві основні групи: дрібнокусову та крупнокусову. Дрібнокусова руда характеризується фракціями розміром менше 15 мм, які становлять понад 50-60% від загального обсягу матеріалу. У свою чергу, крупнокусова або, як її часто називають, просто кускова руда містить фракції розміром понад 20-25 мм, частка яких перевищує 60-70% від загальної маси. Така класифікація є важливою для подальшого проектування технологічних процесів обробки та транспортування матеріалу.

Для забезпечення ефективності видобутку і зниження втрат застосовуються емпіричні формули, які використовуються для визначення

ключових параметрів еліпсоїда випуску обваленої руди. Ці формули дозволяють з високою точністю обчислити обсяг видобутої руди, її просторове розташування та особливості поширення в масиві. Результати таких розрахунків є фундаментом для планування технологічних операцій, включаючи оцінку обсягів корисної копалини, що може бути втрачена, та оптимізацію видобувних робіт.

Дослідження сипких властивостей руди, а також методів її обвалення сприяють удосконаленню існуючих технологій та дозволяють мінімізувати витрати під час розробки покладів. Таким чином, розуміння та точне визначення параметрів  $\epsilon$  та  $\beta$  є критично важливими для підвищення ефективності гірничих робіт.

$$Q = \left( \frac{h}{K_1} + K_2 \cdot d \right)^3, \text{ м}; \quad (1.6)$$

$$h = K_1 (\sqrt[3]{Q} - d), \text{ м}; \quad (1.7)$$

$$b = K_3 \cdot h + 0,5d, \text{ м}; \quad (1.8)$$

де  $K_1, K_2, K_3$  – відповідно коеф. емпіричного значення, які представлено у таблиці.

Таблиця 1.2.2 – Емпіричні коефіцієнти

Тип руди	$K_1$	$K_2$	$K_3$
дрібнокускова	4,63	1,0	0,06
кускова	2,72	0,26	0,1516

Таблиця 2.

У процесі випуску обваленої руди важливо враховувати, що точність розрахунків залежить від застосування формул у визначених умовах. Зокрема, такі формули демонструють високу ефективність при діаметрі воронки, що знаходиться в межах від 1 до 3 метрів, а також за умови, що відношення висоти до діаметра ( $h / d$ ) перевищує значення трьох. Дотримання цих параметрів є

ключовим для забезпечення максимальної точності у визначенні об'ємів випуску рудної маси.

Під час процесу випуску руди, яка має нерівномірний ступінь розпушення, часто спостерігається зміщення вертикальної осі фігури випуску. Це явище відбувається у бік ділянки, де руда більш розпушена, і призводить до формування так званої депресійної воронки. У таких випадках поверхня контакту рудного масиву з пустими породами прогинається, утворюючи характерну воронкоподібну форму. Коли ця поверхня контакту опускається до рівня площини випускного отвору, об'єм сформованої воронки дорівнює об'єму еліпсоїда випуску, якщо вони мають однакову висоту. У подібних ситуаціях радіус випускної воронки після завершення видобутку чистої, незасміченої руди може бути точно розрахований за спеціально розробленою формулою.

Крім того, геометричні характеристики гребенів, які утворюються між сусідніми випускними дучками, а також положення рудної маси у «мертвій» зоні на контурі лежачого боку рудного покладу, визначаються за окремими розрахунковими формулами. Це дозволяє детально прогнозувати кінцеве розташування обваленої руди після випуску, що є важливим етапом у плануванні подальших видобувних і технологічних операцій.

Додаткові аспекти, такі як облік особливостей обвалення та взаємодії рудної маси з пустими породами, сприяють підвищенню точності моделювання та ефективності гірничих робіт. Застосування цих підходів забезпечує оптимізацію процесу видобутку, зменшення втрат корисної копалини та підвищення продуктивності праці.

## **1.2. Аналіз сучасних підходів до розробки рудних родовищ із недостатніми кутами залягання**

Для мінімізації втрат руди, що виникають на лежачому боці покладу, пропонується вдосконалена система підповерхового обвалення. Основними її елементами є пошарова відбійка з наступним випуском руди та створенням

рудних розділових ціликів. Такий підхід забезпечує ефективніше управління процесом вилучення корисної копалини та дозволяє суттєво зменшити втрати, особливо у складних для розробки зонах. Впровадження цієї системи може стати ключем до оптимізації технології видобутку у похилих покладах.

Ключову роль у цьому процесі відіграють рудні цілики, які виконують дві основні функції: розділення потоків руди та формування їх у межах лежачого боку покладу. Завдяки цьому стає можливим видобування руди навіть із важкодоступних зон без необхідності прокладати додаткові випускні виробки. Водночас використання ціликів має свої недоліки: у блоках, де вони залишаються, спостерігаються значні втрати корисної копалини, що знижує загальну ефективність видобутку.

На прикладі системи підповерхового обвалення з горизонтальним днищем розглянуто технологічний підхід, за яким виймальний блок поділяється на два підповерхи. Кожен із цих підповерхів додатково розбивається на дві панелі, що дозволяє більш детально структурувати процес видобутку. Однак, випускні отвори, розташовані на висячому боці покладу, виявляються менш ефективними для вилучення руди порівняно з отворами на лежачому боці. Тому доцільним є перенесення випускних отворів на лежачий бік покладу, розділивши підповерх на дві рівні частини. Така модифікація системи дозволяє не лише зменшити втрати руди на лежачому боці, але й зберегти оптимальну кількість доставних виробок у межах блоку.

Застосування цієї вдосконаленої системи дозволяє скоротити кількість гребенів із не випущеною рудою на 30% порівняно з традиційними методами розробки. Однак, така оптимізація супроводжується збільшенням обсягу підготовчих та нарізних виробок, що може підвищити витрати на початкових етапах реалізації системи. У класичних системах підповерхового обвалення, які застосовуються для похилих покладів, основним недоліком є високі питомі витрати на підготовчі роботи та створення виробок.

З огляду на ці виклики був розроблений новий варіант системи розробки (як показано на рис. 1.1). Ця система враховує недоліки існуючих підходів і

спрямована на підвищення ефективності видобутку. Завдяки оптимізації використання ресурсів і мінімізації втрат руди, новий підхід забезпечує покращені показники виробничої діяльності. Зокрема, він дає можливість більш раціонально використовувати гірничі потужності, зменшувати вплив на навколишнє середовище та збільшувати економічну рентабельність розробки рудних покладів.

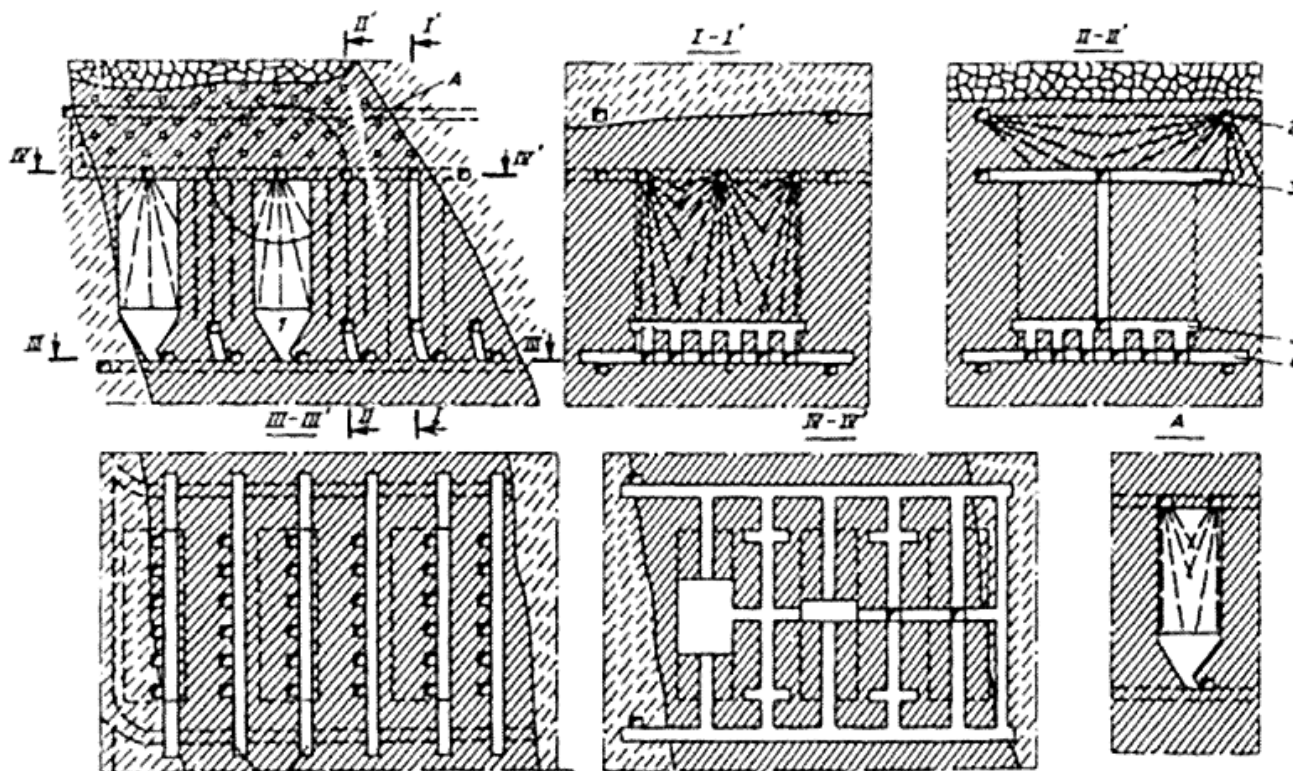


Рис. 1.2. Сучасні системи розробки, що підвищують ефективність видобутку рудних покладів

Інноваційні підходи до розробки рудних покладів, зокрема утворення спеціальної відрізної щілини вздовж лежачого боку родовища, дозволяють адаптувати технологічні процеси до особливостей кожного покладу залежно від його потужності. Такий метод забезпечує оптимізацію видобутку, сприяючи ефективнішому вилученню руди та зниженню втрат цінного матеріалу, особливо у важкодоступних або низькопродуктивних зонах.

Одним із провідних наукових рішень у цій галузі є унікальна технологія, розроблена професором В.А. Коржем. Ця ресурсозберігаюча технологія

підземної розробки спрямована на мінімізацію втрат руди у так званих «мертвих» зонах, які утворюються на лежачому боці покладу. Основу цієї технології складає принцип управління параметрами випуску нерівномірно ущільненої руди, що дозволяє ефективніше керувати процесом обвалення та вилучення корисної копалини.

Ключовою перевагою методу є можливість адаптації до різних умов залягання рудного масиву, що значно підвищує загальну ефективність видобувних робіт. Наприклад, регулювання параметрів випуску дозволяє зменшити обсяг руди, яка залишається у «мертвих» зонах, одночасно покращуючи якість матеріалу, що добувається. Це сприяє раціональнішому використанню ресурсів, знижуючи втрати та мінімізуючи потребу у додаткових витратах на підготовчі роботи.

Детальна схема роботи цієї технології зображена на рисунку 2, де ілюструються основні аспекти управління випуском руди, її ущільненням та взаємодією з вміщуючими породами. Інноваційний підхід дозволяє не лише підвищити продуктивність видобутку, але й забезпечити сталість гірничих робіт, зменшуючи їхній негативний вплив на довкілля. Такі технології особливо актуальні в умовах сучасної гірничої галузі, де дедалі більше уваги приділяється збереженню природних ресурсів і запобіганню екологічним ризикам.

Таким чином, впровадження таких систем розробки відкриває нові можливості для ефективного та раціонального видобутку корисних копалин. Завдяки оптимізації процесів і врахуванню специфіки родовищ цей підхід здатний забезпечити стабільне зростання економічних показників, водночас підтримуючи високі стандарти екологічної відповідальності.

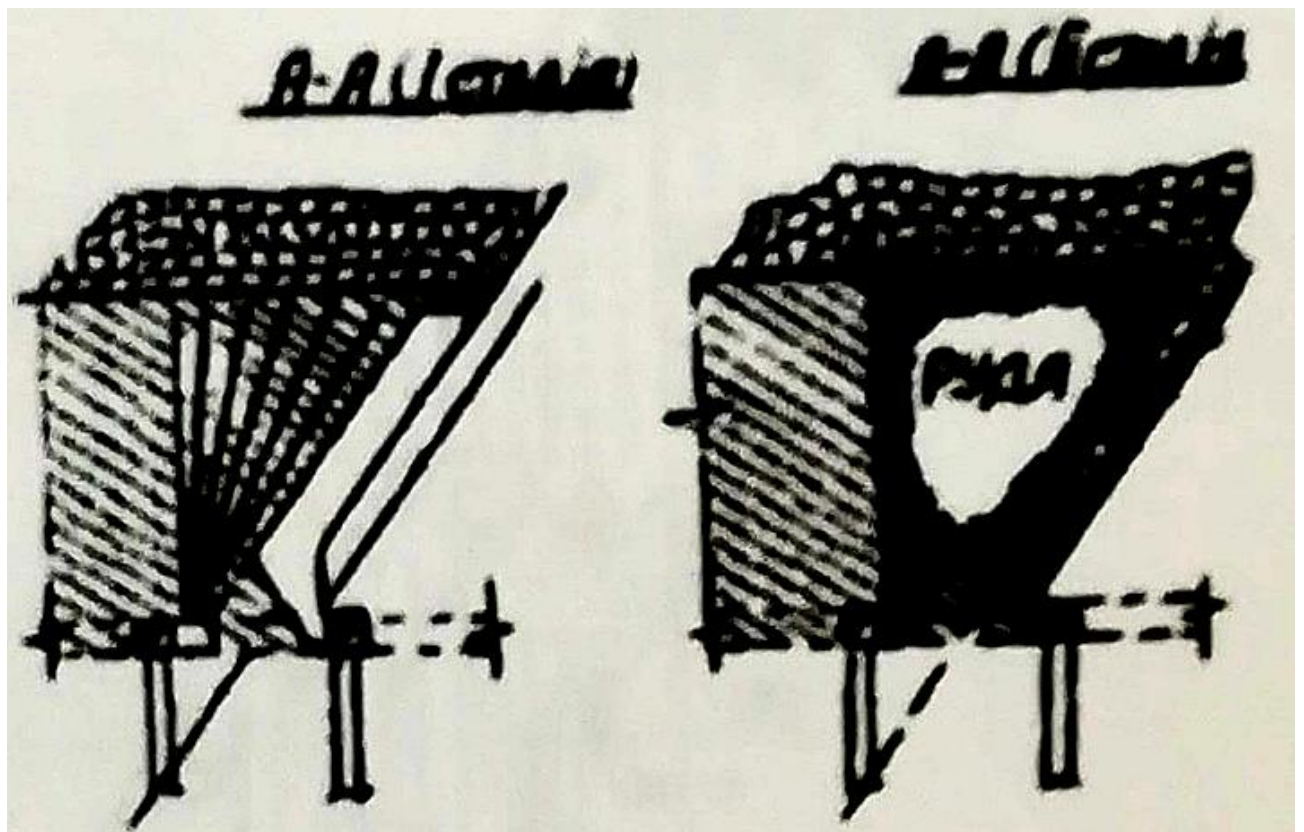


Рис. 1.3. Технологія видобутку руди з «мертвої» зони лежачого боку покладу

Пропонована технологія видобутку спрямована на ефективне вилучення втраченої руди з трикутної «мертвої» зони лежачого боку родовища. Основним елементом цієї технології є спеціально облаштований польовий штрек, який використовується для транспортування та випуску руди через односторонні дучки. Для підвищення ефективності відпрацювання покладів паралельно польовому штреку облаштовується рудний штрек, що дає змогу працювати з панелями, розташованими в лежачій частині покладу. Одночасно у лежачому боці створюється відрізна щілина, яка виконує функцію обвалення масиву руди.

Процес видобутку передбачає використання віялового розбурювання: свердловини спрямовуються як у рудний масив, так і в породи лежачого боку. Після розбурювання руда обвалюється в напрямку відрісної щілини. Породи лежачого боку обвалюються з невеликим запізненням, приблизно на 2-3 віяла. У результаті формується породна подушка, що дозволяє знизити втрати руди

під час масового випуску. Після завершення обвалення та подрібнення порід і руди здійснюється масовий випуск.

Ця технологія здатна значно знизити втрати руди. Зокрема, втрати на лежачому боці панелей зменшуються у три рази, а рівень засмічення руди — на 30-40%. Разом із тим, метод потребує збільшення обсягів розбурювання, що вимагає більше ресурсів і підготовчих робіт. Незважаючи на ці виклики, технологія вже продемонструвала свою ефективність у покращенні видобутку. Техніко-економічний аналіз системи підповерхового обвалення з відбійкою руди глибокими свердловинами

Дослідження ефективності систем підповерхового обвалення, які використовуються для відпрацювання потужних рудних покладів, виявило низку значних недоліків. Основні з них включають:

- **Високі витрати на підготовчі та нарізні виробки:** Для кожних 1000 тонн запасів панелі витрати на підготовчі роботи суттєво підвищують загальні витрати на видобуток.
- **Збільшені витрати на вибухові речовини:** Особливо це стосується ліквідації зависань та вторинного подрібнення руди під час масового випуску.
- **Втрати руди:** Планові втрати складають 14-17%, а в деяких випадках можуть досягати 20-25%.
- **Засмічення руди:** Заплановані втрати через засмічення руди становлять 6-8%, але в складних умовах можуть сягати 10-15%.
- **Численні рудні цілики:** Міжблокові, міжпанельні цілики та цілики біля господарчих ортів ускладнюють процес видобутку.
- **Нерівномірний випуск обваленої руди:** Це ускладнює досягнення оптимальних техніко-економічних показників.
- **Матеріало- та трудомістка підтримка виробок:** Значні ресурси витрачаються на підтримку виробок для випуску та транспортування руди.



- **Нерівномірність подрібнення руди:** Різний ступінь подрібнення руди ускладнює подальші операції.
- **Нерівномірне розпушення відбитої руди:** Нерівномірність обвалення впливає на якість руди, що добувається.
- **Складнощі з глибокими свердловинами:** Максимальна глибина свердловин (30-35 м) часто призводить до їх скривлення та погіршення детонації зарядів.
- **Нерівномірний розподіл випускних виробок:** Частина площі панелей без випускних виробок може досягати 20-25%, що знижує ефективність видобутку.
- **Видобуток складно структурованих покладів:** Валовий спосіб відпрацювання спричиняє високе засмічення та зниження вмісту заліза в руді після обвалення.
- **Збільшені витрати на обвалення:** Підвищення витрат на вторинне подрібнення та обвалення рудного масиву негативно впливає на продуктивність.
- **Низька продуктивність праці:** Для забезпечення необхідної продуктивності потрібно одночасно відпрацьовувати більше панелей.
- **Відсутність заходів із зниження засмічення руди:** Це збільшує частку непотрібних матеріалів у видобутку.
- **Невідповідність методів випуску розподілу гірського тиску:** Це знижує ефективність процесу.
- **Відсутність робіт із обваленням днища приймального горизонту:** Це збільшує втрати руди.
- **Порушення технології та низька культура робіт:** Це призводить до зростання втрат і зниження ефективності.
- **Втрати руди на лежачому боці:** Додаткові роботи в цій зоні супроводжуються підвищеним засміченням.

Дослідження показало, що система підповерхового обвалення з відбійкою руди глибокими свердловинами є складною і затратною, особливо за умов розробки потужних рудних покладів. Така система має низку суттєвих технічних і економічних недоліків, що обмежують її ефективність.

На основі аналізу сучасних методів розробки рудних родовищ, зокрема камерних систем і систем підповерхового обвалення з обваленням руди та вміщуючих порід, можна зробити такі висновки:

- **Втрати та засмічення руди на шахтах Криворізького басейну** на шахтах Кривбасу широко застосовуються камерні системи та системи підповерхового обвалення. Однак, вони демонструють стабільно високі втрати руди та значне засмічення, особливо через зависання руди на лежачому боці покладів. Нормативні втрати багатих залізних руд у регіоні нині сягають близько 20%, що вказує на необхідність розробки більш ефективних технологій.
- **Недоліки традиційних методів зменшення втрат у лежачому боці** класичні технології зменшення втрат руди на лежачому боці покладів базуються на розбурюванні масиву панелі та виконанні значних обсягів підготовчих робіт. Вони супроводжуються високими матеріальними і трудовими витратами, що знижує їхню ефективність.
- **Проблеми з випуском руди під налягаючими породами** Значна частина руди залишається на лежачому боці покладу під час випуску. Обсяги цих втрат безпосередньо залежать від висоти панелі, кута падіння рудного тіла та середнього кута випуску руди. Така залежність ускладнює процес і підвищує втрати.

Отримані дані підкреслюють необхідність розробки та впровадження нових, інноваційних підходів до видобутку рудних родовищ. Нові технології повинні бути спрямовані на:

- Зниження втрат руди, особливо в складнодоступних зонах лежачого боку покладів.
- Підвищення ефективності процесів випуску та транспортування.

- Скорочення обсягів засмічення руди.
- Зменшення витрат на підготовчі та нарізні роботи.

Це дозволить не тільки оптимізувати процеси видобутку, але й підвищити економічну рентабельність гірничих підприємств.

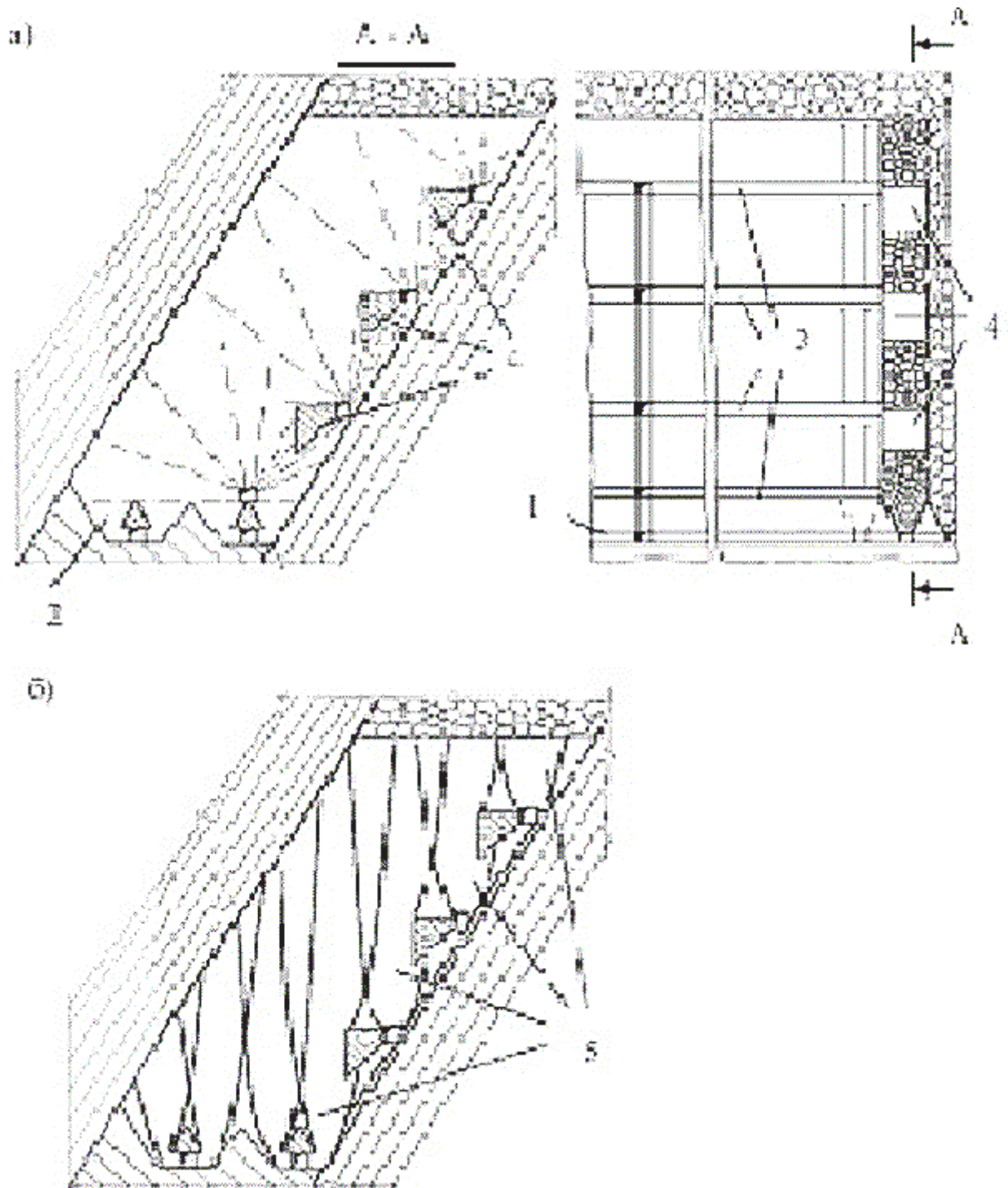


Рис. 1.4. Технологічна схема випуску рудної маси в умовах недостатньо крутоспадних рудних покладів

Детальний аналіз процесу випуску руди в умовах недостатньо крутоспадних кутів залягання показав, що розташування випускних отворів і вибір режиму випуску значно впливають на ефективність видобутку. Основні особливості випуску руди та режими його здійснення можна описати наступним чином:

- **Відстань  $S \geq 2b$  (дві ширини випуску):** при такому розташуванні отвори функціонують незалежно один від одного, не впливаючи на процеси переміщення часток руди. У цьому випадку закономірності переміщення частинок аналогічні до випуску через окремі отвори, що забезпечує передбачуваність процесу.
- **Відстань  $S < 2b$ :** при меншій відстані між отворами спостерігається взаємний вплив між ними, що може знижувати ефективність і рівномірність випуску. У таких умовах важливо враховувати взаємодію отворів для мінімізації втрат і засмічення.
- **Рівномірно-послідовний режим:** отвори включаються в роботу по черзі, забезпечуючи рівномірне випускання однакових обсягів руди. Цей режим вважається найбільш ідеальним, оскільки забезпечує плавне переміщення контакту руди з порожніми породами до досягнення критичної висоти.
- **Нерівномірно-послідовний режим:** цей режим застосовується для панелей або блоків із похилими стінками та нерівномірними відстанями між отворами. Він є найпоширенішим на практиці, оскільки ідеальна рівномірність у випуску руди часто є недосяжною.
- **Почерговий режим випуску:** руда випускається по черзі з різних отворів до досягнення стадії розубоження або межі кондиції. Простий у керуванні, але може призводити до утворення гребенів із невипущеної руди, збільшення втрат та підвищеного гірського тиску у зонах, де випуск не ведеться.
- **Почерговий випуск через одну дучку:** використання отворів другої черги дає змогу зменшити втрати та забезпечити краще вписування

еліпсоїда випуску в контури гребенів. Цей метод зберігає частину недоліків почергового випуску, включаючи вплив гірського тиску.

- **Хаотичний (неконтрольований) режим випуску:** Випуск здійснюється без встановленої черговості та контролю обсягів руди, що призводить до непередбачуваного переміщення контакту руди з порожніми породами. Цей режим є найменш ефективним, супроводжується значними втратами, розубоженням руди та частими проривами порожніх порід.

Кожен із режимів має як переваги, так і недоліки. Вибір відповідного методу залежить від специфіки рудного родовища, особливостей його залягання та цілей видобутку. Оптимізація процесу випуску дозволяє:

- Збільшити вилучення корисних копалин.
- Знизити втрати руди та її засмічення.
- Забезпечити стабільність технологічних процесів.

Ретельний вибір режиму випуску є ключовим для підвищення ефективності видобутку та зниження витрат.

**РОЗДІЛ 2**  
**ОСНОВНА МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

## **2.1 Дослідження можливості інтенсифікації технологічних процесів випуску руди**

Інтенсивність очисної виїмки руди в системі з обваленням залежить від низки факторів, що безпосередньо впливають на ефективність процесу видобутку: продуктивність праці забійної групи: Вища продуктивність робітників призводить до збільшення інтенсивності виїмки, що, у свою чергу, сприяє збільшенню обсягу видобутку руди; організація праці та система оплати: Ефективне організування праці та мотивація робітників через систему оплати праці сприяють підвищенню продуктивності та інтенсивності виїмки; концентрація робіт: Централізація робочих процесів та ресурсів дозволяє значно поліпшити ефективність робіт та прискорити процес виїмки; фізико-механічні властивості руди та вміщуючих порід: Механічні характеристики руди та порід, що її оточують, впливають на техніку видобутку та швидкість проведення робіт; ширина очисного простору та довжина блоку: Ці параметри визначають можливість організації робіт, а також обсяг руди, який можна видобути за одиницю часу; залежність інтенсивності виїмки від цих факторів можна наочно проілюструвати графічно. Графіки показують, як зміни в умовах роботи та характеристиках родовища можуть впливати на загальну ефективність виїмки. Наприклад, зміни в ширині очисного простору або довжині блоку можуть істотно вплинути на обсяги та швидкість виїмки руди. Це має важливе значення для планування та оптимізації видобутку на шахтах.

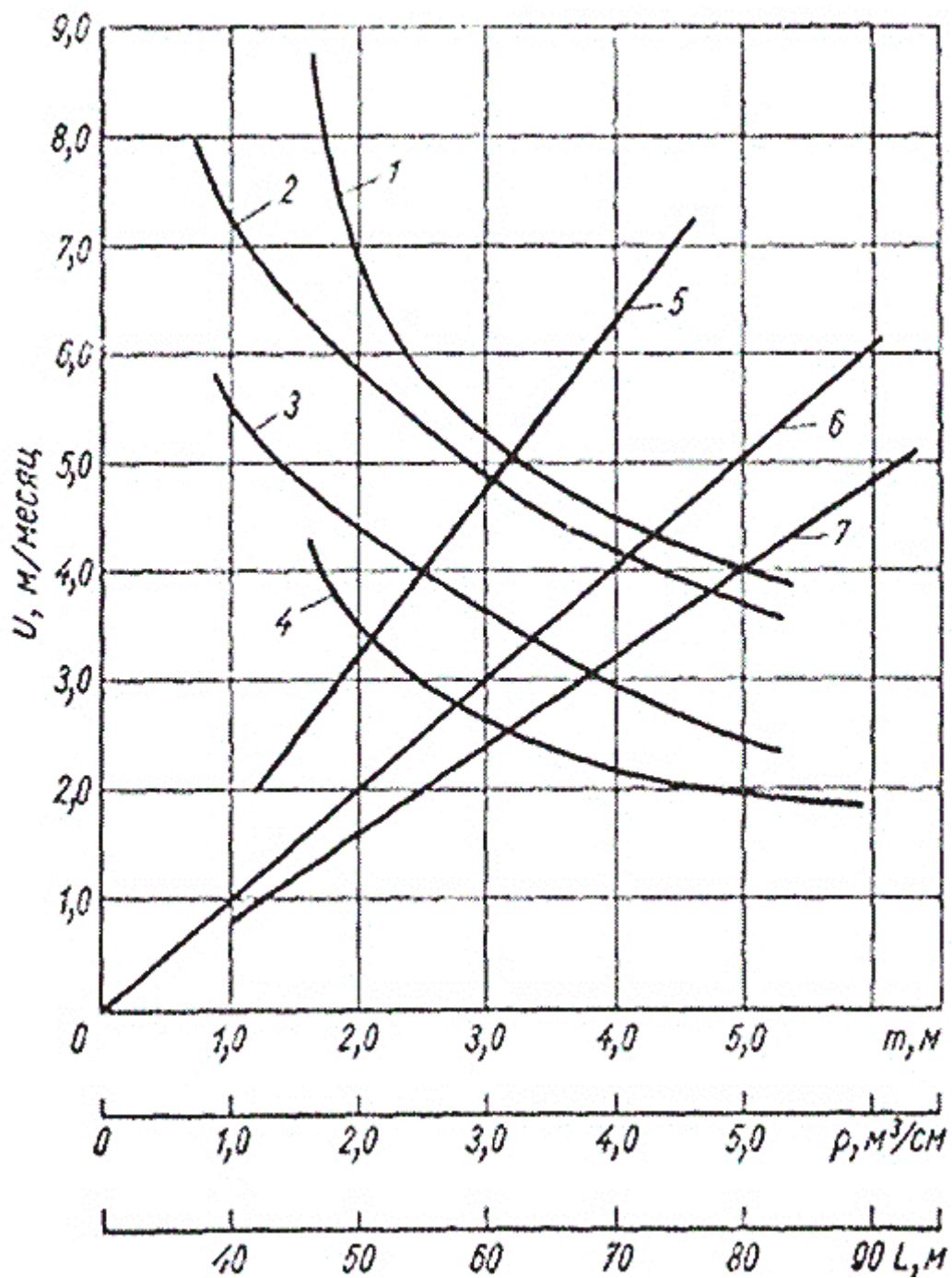


Рисунок 2.1 – Графічна залежність інтенсивності відбійки  $U$  залізних руд від ширини очисного простору  $m$ , загальної продуктивності забійного працівника  $P$  та довжини блоку  $L$  [7].

Практичний досвід видобутку руди свідчить, що навіть на перших етапах роботи стійкі вміщуючі породи з часом можуть втратити свої механічні властивості, ставши нестабільними і схильними до утворення вивалів. Цей процес значно ускладнює технологічні операції та призводить до таких наслідків:



- **Зміна властивостей вміщуючих порід** з плином часу бічні породи стають менш стійкими, що підвищує ризик відшарувань і обвалів. Це може створити аварійні ситуації, ускладнюючи процес видобутку та підвищуючи витрати на підтримання стабільності виробок.
- **Вторинне розубожування руди** інтенсивний випуск рудної маси підвищує ймовірність засмічення руди відшарованими породами. Зростання швидкості випуску сприяє перемішуванню корисної копалини з породами, що знижує якість видобутої руди.
- **Збільшення втрат руди при повільному відпрацюванні** якщо процес відбійки та випуску руди здійснюється повільно, збільшується час взаємодії руди з нестійкими породами. Це призводить до зростання втрат через утворення додаткового розубожування.
- **Моніторинг стану порід** регулярне спостереження за станом бічних порід дозволяє виявити ранні ознаки втрати їх стійкості. Це допоможе уникнути непередбачуваних аварійних ситуацій.
- **Контроль швидкості випуску руди** оптимізація швидкості випуску дозволяє знизити ризики засмічення руди та мінімізувати її розубожування.
- **Використання передових технологій** сучасні методи контролю та видобутку, включаючи автоматизовані системи моніторингу та управління, сприяють ефективнішій організації робіт.
- **Оптимізація процесів** планування технологічних операцій із врахуванням динаміки змін у вміщуючих породах дозволяє мінімізувати втрати та підвищити економічну ефективність видобутку.

Застосування цих підходів сприятиме не лише зменшенню втрат, але й забезпеченню стабільної та безпечної роботи під час видобутку залізних руд.

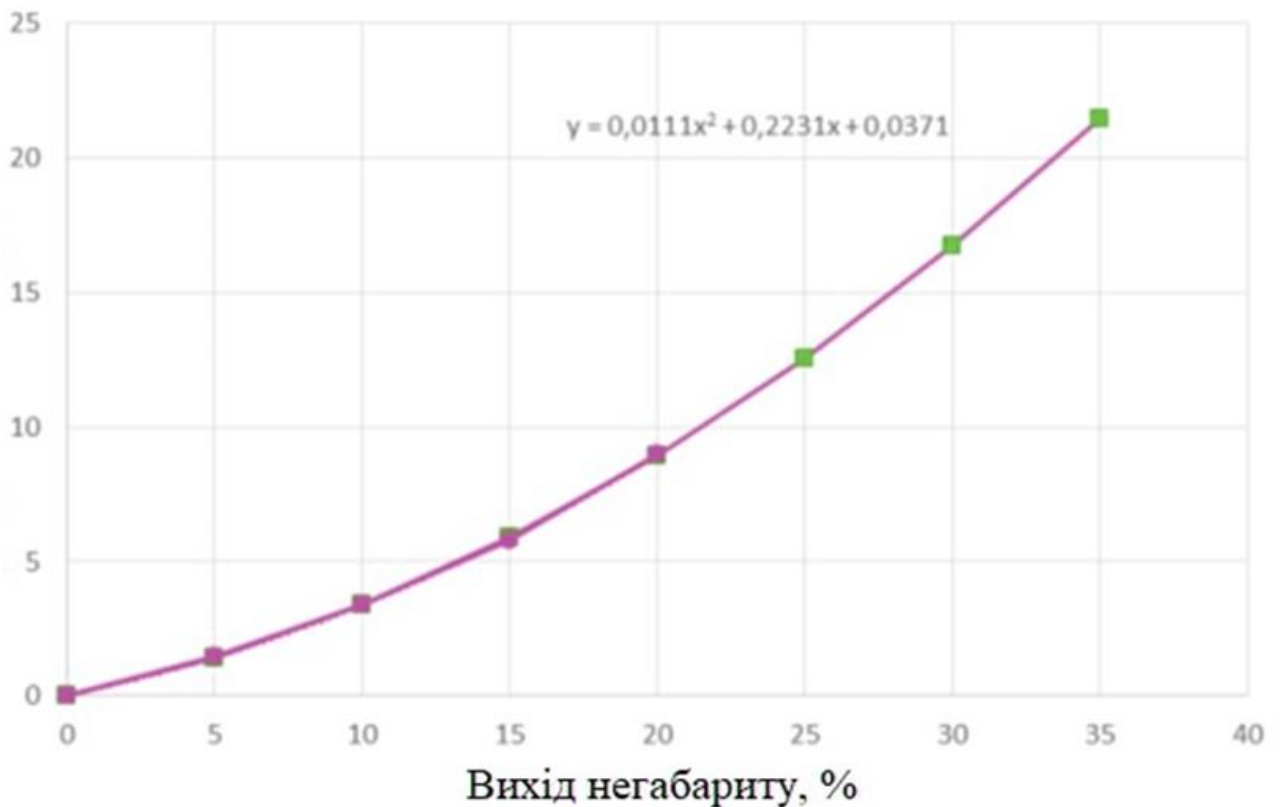


Рисунок 2.2. – Залежність вторинного розубожування від інтенсивності випуску руди з блоку [9]

Зосередження та інтенсифікація гірничих робіт відіграють ключову роль у підвищенні ефективності систем підповерхового обвалення. Підвищення рівня концентрації різних видів робіт на обмеженій території родовища дозволяє значно пришвидшити процес підготовки та відпрацювання панелей. Це забезпечує більш раціональне використання ресурсів, зменшує час, необхідний для завершення окремих етапів, а також покращує контроль над гірським тиском. Внаслідок цього зменшуються витрати на підтримку виробок, що сприяє загальній економічній ефективності видобутку.

Використання високопродуктивного устаткування Крім того, впровадження потужного та високопродуктивного самохідного устаткування в системах підповерхового обвалення сприяє інтенсивному відпрацюванню рудних запасів. Це дозволяє зменшити трудомісткість робіт та підвищити швидкість виконання завдань. Системи, які характеризуються простотою конструктивного виконання, допомагають оптимізувати процес відпрацювання, забезпечуючи при цьому вищу продуктивність праці гірників.

Вплив специфіки родовища варто також зазначити, що рівень концентрації гірничих робіт може значно варіюватися залежно від специфіки родовища, зокрема від потужності рудного тіла. У родовищах з невеликою потужністю рудного тіла рівень концентрації гірничих робіт зазвичай нижчий, порівняно з покладами середньої та великої потужності. Це пов'язано з різними масштабами операцій і можливостями ефективно організації робіт у різних типах родовищ.

Важливість підвищення концентрації та інтенсифікації отже, підвищення концентрації та інтенсифікації гірничих робіт у системах підповерхового обвалення є критично важливим для підвищення їх ефективності, зниження витрат та збільшення продуктивності праці. Такий підхід дозволяє досягти більш високих показників видобутку при зниженні витрат на операційні процеси.

Особливості систем підповерхового обвалення з площадним випуском руди через дучки системи підповерхового обвалення, які використовують площадний випуск руди через дучки, мають свої специфічні особливості, що впливають на ефективність видобутку:

- **Необхідність створення компенсаційного простору:**  
Для реалізації таких систем потрібно створити додатковий горизонтальний або вертикальний компенсаційний простір. Це призводить до подовження термінів підготовки до очисної виїмки та вимагає проведення додаткових прохідницьких і бурових робіт.
- **Додаткові прохідницькі та бурові роботи:**  
Створення компенсаційного простору передбачає необхідність виконання додаткових прохідницьких та бурових робіт, що збільшує загальні витрати та час підготовки.
- Паралельне проведення прохідницьких та бурових робіт може стати ключовим чинником для збільшення концентрації гірничих робіт. Це дозволяє скоротити загальні витрати на виробництво та підвищити

ефективність систем підповерхового обвалення. Такий підхід забезпечує більш раціональне використання трудових і матеріальних ресурсів, а також зменшує загальний час, необхідний для підготовки та відпрацювання панелей.

- Інтенсивність випуску руди залежить від використовуваної технології та засобів механізації. Вона визначається як відношення обсягу видобутої руди до площі очисного забою та часу його роботи. Ефективність очисних робіт безпосередньо пов'язана з продуктивністю забою та площею, на якій вони проводяться. Таким чином, підвищення інтенсивності виїмки можливе завдяки оптимізації технології та зменшенню площі панелей для випуску руди.

Загалом, використання оптимізованих варіантів систем підповерхового обвалення, які дозволяють ефективно поєднувати різні види гірничих робіт, є ключовим для підвищення ефективності та зниження витрат у гірничій промисловості. Оптимізація технологічних процесів, раціональне використання устаткування та ресурсів, а також впровадження інноваційних підходів сприяють значному підвищенню продуктивності та економічної ефективності видобутку руди.

$$i = Qu / St = \Pi / S,$$

де:  $Q_u$  – запас панелі, т;

$\Pi$  - продуктивність вибою, т / зміну;

$S$  - поперечна площа вибою, м<sup>2</sup>;

$t$  – проміжок часу існування вибою, діб.

З аналізу інтенсивності очисних робіт у системі підповерхового обвалення можна зробити висновок, що цей показник залежить від двох основних факторів: продуктивності очисного забою та площі, на якій він здійснюється. Інтенсивність виїмки прямо пропорційна продуктивності забою і обернено пропорційна площі забою. Тому, покращення технології очисних

робіт та оптимізація площі панелі, на якій відбувається випуск руди, можуть значно підвищити інтенсивність виїмки.

Системи підповерхового обвалення, що передбачають відбійку вертикальних шарів руди, дозволяють ефективніше використовувати простір і ресурси. У порівнянні з традиційними методами, що використовують площадковий випуск руди із застосуванням скреперної доставки (де максимальна інтенсивність випуску обмежена продуктивністю скрепера), нові варіанти систем здатні майже вдвічі збільшити інтенсивність випуску руди.

Це пояснюється тим, що технологія відбійки вертикальних шарів руди дозволяє поступово збільшувати площу, зайняту під очисними роботами, що сприяє більш інтенсивному випуску руди. Такий підхід не тільки збільшує продуктивність, а й забезпечує ефективніше використання простору та ресурсів, знижуючи в той самий час загальні витрати на виробництво.

Отже, вибір і впровадження оптимальних варіантів систем підповерхового обвалення, які враховують специфіку родовища та можливості сучасних технологій, є основними факторами для підвищення ефективності видобутку та оптимізації процесу очисних робіт.

Використання систем підповерхового обвалення з відбійкою вертикальних шарів руди значно підвищує ефективність очисної виїмки. Однією з основних переваг цього підходу є зменшення негативного впливу гірського тиску на процес випуску та доставки руди. Це забезпечує більшу стійкість процесів, знижуючи ризики та ймовірність обвалів.

Крім того, поступове включення чергових шарів руди у процес очисної виїмки дозволяє підтримувати стабільну якість видобутої руди протягом усього періоду відпрацювання панелі. Це є особливо важливим, оскільки гарантує випуск руди високої якості без обмежень, пов'язаних з її характеристиками.

Збільшення інтенсивності випуску руди завдяки вдосконаленню технології відбійки та випуску призводить до зниження витрат і підвищення загальної продуктивності відпрацювання родовища. Цей підхід є важливим

для забезпечення стабільності та ефективності роботи шахт, що займаються випуском руди,  $i$  є одним із ключових факторів для покращення загальної ефективності гірничих робіт.

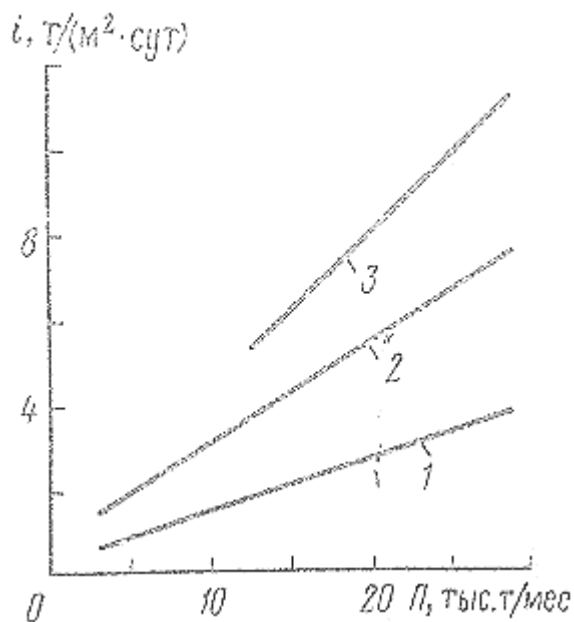


Рисунок 2.3. - Графік впливу інтенсивності випуску корисної копалини в залежності від продуктивності вибою [7]:

1 – площадний; 2 – з затисненого середовища; 3 - торцевий.

Найвища ефективність випуску руди досягається в системах підповерхового обвалення з торцевим випуском. Цей підхід характеризується відбійкою вертикальних шарів руди невеликої товщини та їх випуском на обмеженій площі, що значно знижує вплив гірського тиску на процес випуску та доставки руди, підвищуючи стійкість цих процесів.

У глибоких гірничих роботах час стає критичним чинником для досягнення високої ефективності видобутку. Однак аналіз показує, що в традиційних системах багато процесів відбуваються повільно і з великими витратами. Тому оптимізація часу відпрацювання панелей є важливим аспектом для підвищення рентабельності видобутку. Час відпрацювання панелей залежить від продуктивності очисного забою та інтенсивності випуску, що може регулюватися висотою підповерху. Зменшення висоти підповерху може скоротити терміни відпрацювання, але водночас збільшує

кількість підповерхів, що необхідно відпрацювати, а також витрати на підготовчо-нарізні роботи.

Висота підповерху може змінюватися в залежності від умов родовища. Для потужних і середніх покладів оптимальна висота підповерху становить 30-40 метрів. Для покладів з низькою потужністю висота підповерху може бути знижена до 15-25 метрів, що допомагає зменшити втрати корисних копалин.

Таким чином, для досягнення оптимальних результатів необхідно провести техніко-економічне порівняння різних варіантів систем підповерхового обвалення, щоб визначити найбільш ефективні підходи для конкретних умов видобутку.

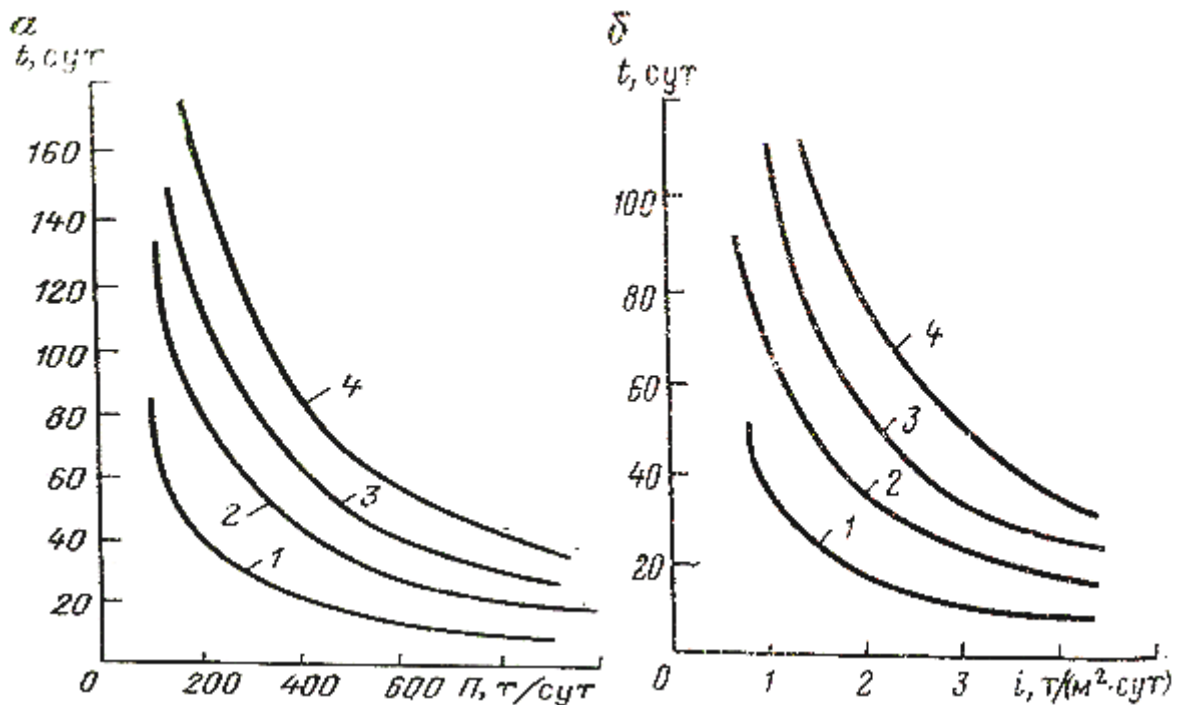


Рисунок 2.4. - терміну відпрацювання панелі в залежності від її продуктивності (а) та інтенсивності випуску відбитої рудної маси (б). [11] :

Інтенсивність випуску рудної маси в системах підповерхового обвалення значно впливає на рівень гірського тиску та ефективність видобутку руди, особливо в складних геомеханічних умовах глибоких горизонтів, таких як Криворізький басейн.

У системах з горизонтальними днищами приймальних горизонтів, що часто використовуються в Кривбасі, спостерігаються значні втрати руди (16–30%) і засмічення рудної маси (15–25%), і ці показники погіршуються з

глибиною. Однак, аналіз показує, що збільшення продуктивності засобів доставки або інтенсивності випуску руди може значно знизити ці втрати, завдяки зменшенню гірського тиску в межах фігури випуску.

Збільшення інтенсивності випуску руди може значно зменшити втрати руди і покращити умови для експлуатації виробок доставки, знижуючи гірський тиск на днище блоку. Це, у свою чергу, покращує показники вилучення чистої руди та рудної маси, зменшуючи тиск на вироблення.

Для Кривбасу оптимальні показники вилучення чистої руди досягаються при інтенсивності випуску в межах від 0,5 до 1,5 т/м<sup>2</sup> на добу. Це підтверджує, що правильне регулювання інтенсивності випуску руди може бути ефективним інструментом для поліпшення показників вилучення та зменшення втрат.

Отже, в кожному конкретному випадку необхідно проводити аналіз і визначати оптимальні параметри інтенсивності випуску для досягнення найкращих результатів вилучення руди з мінімальними втратами.

Процес випуску рудної маси в системах підповерхового обвалення впливає на механічні властивості сипучого матеріалу, а також на статичний тиск, який виникає перед початком випуску. Моделювання цього процесу в реальних умовах Криворізького басейну дає змогу оцінити зміни, які відбуваються під час розробки покладів.

- **Зміна механічних властивостей** під час початку випуску сипучого матеріалу через випускні отвори його механічні властивості змінюються, що пов'язано з рухом руди і зміною статичного тиску в масиві.
- **Зона розпушення над випускними отворами** утворюється зона розпушення, де тиск знижується. Розмір цієї зони залежить від кількості і розмірів випускних отворів.
- **Збільшення тиску за межами зони розпушення** за межами цієї зони спостерігається збільшення тиску на днище, яке може становити 20–40% від початкового, залежно від кількості випускних отворів.



- **Максимальний тиск і вплив розмірів блоку та порядку випуску**  
максимальний тиск на днище блоку під час випуску залежить від розмірів блоку, інтенсивності та порядку випуску руди.
- **Вплив інтенсивності та дози випуску на гірничий тиск**  
гірничий тиск значною мірою залежить від інтенсивності випуску та обсягу випущеної руди. Інтенсивність випуску має важливе значення для контролю гірського тиску.

На основі результатів моделювання можна зробити висновок, що ефективне управління інтенсивністю випуску руди та кількістю випускних отворів є важливим фактором для оптимізації гірського тиску і мінімізації втрат у процесі розробки покладів.

Дослідження показують, що тиск, який створюється вагою обваленої руди та породами, що заповнюють вироблений простір, є одним з ключових факторів, що впливають на руйнування виробок днища. Цей тиск залежить від інтенсивності випуску руди, ширини очисної панелі та об'ємної ваги обвалених порід.

При інтенсивності випуску 6-12 т/м<sup>2</sup> на добу:  
 $P=0.9793 \times I \times 1.0351 \times A_e \times 1.5347 \times \gamma_{п} \times 0.1973$  МПа

При інтенсивності випуску 1.6-6 т/м<sup>2</sup> на добу:  
 $P=0.9726 \times I \times 1.0351 \times A_e \times 1.5347 \times \gamma_{п} \times 0.2715$  МПа

При інтенсивності випуску 0.6-1.6 т/м<sup>2</sup> на добу:  
 $P=0.5927 \times I \times 1.0351 \times A_e \times 1.5347 \times \gamma_{п} \times 0.5582$  МПа

де I – інтенсивність випуску корисної копалини,  $A_e$  – ширина очисної панелі,  $\gamma_{п}$  – об'ємна вага обвалених порід в розпушеному стані.

Аналіз показує, що тиск у фігурі випуску залежить від кількох основних параметрів: інтенсивності випуску, ширини очисної панелі та об'ємної ваги обвалених порід. Для глибин 1200–1400 м інтенсивність випуску від 0,5 до 6 т/м<sup>2</sup> на добу дозволяє знизити тиск з 2,52 МПа до 1,0 МПа. Подальше збільшення інтенсивності випуску до 12 т/м<sup>2</sup> на добу зменшує тиск лише до 0,88 МПа. Тиск також лінійно залежить від еквівалентної ширини панелі та

об'ємної ваги обвалених порід. Найкращі результати тиску досягаються при інтенсивності випуску 5,5–6 т/м<sup>2</sup> на добу.

Це підтверджує важливість ефективного управління інтенсивністю випуску та параметрами панелі для контролю гірського тиску і зниження ризиків руйнування виробок.

Для зменшення втрат руди на лежачому боці покладу в системах з масовим обваленням важливо правильно планувати і застосовувати спеціальні заходи.

До основних заходів відносяться:

- **Заглиблення крайнього ряду дучок у породи лежачого боку**  
крайній ряд дучок, що розташовуються близько до лежачого боку крутоспадних покладів, слід заглиблювати в породи лежачого боку. Це дозволяє зменшити втрати руди, яка інакше могла б залишатися в недоступних зонах. Залежно від кута падіння покладу, заглиблення повинно бути більшим для пологих покладів. Це вимагає точного геологічного моделювання та індивідуального планування для кожного випадку.
- **Адаптивні методи відбійки** залежно від геологічних умов і кута нахилу покладу можуть застосовуватися різні методи відбійки. Для крутих покладів використовуються більш агресивні методи, а для пологих – більш делікатні, щоб уникнути великих втрат руди.
- **Контроль гірничого тиску і стабільність виробок** під час заглиблення дучок необхідно ретельно контролювати гірничий тиск і забезпечувати стабільність виробок, особливо в місцях, де проходять бічні межі покладу. Це можна зробити за допомогою спеціальних методик, які гарантують безпеку робітників та ефективність видобутку.
- **Використання сучасних технологій моніторингу та моделювання** для кращого розуміння поведінки рудних тіл і оптимізації процесу відбійки варто використовувати передові методи геологічного

модельовання та моніторингу. Це включає тривимірні геологічні моделі, моніторинг руху порід та прогностичні алгоритми.

Використання цих заходів значно підвищить ефективність видобутку руди, зменшить втрати і покращить безпеку робіт на шахтах.

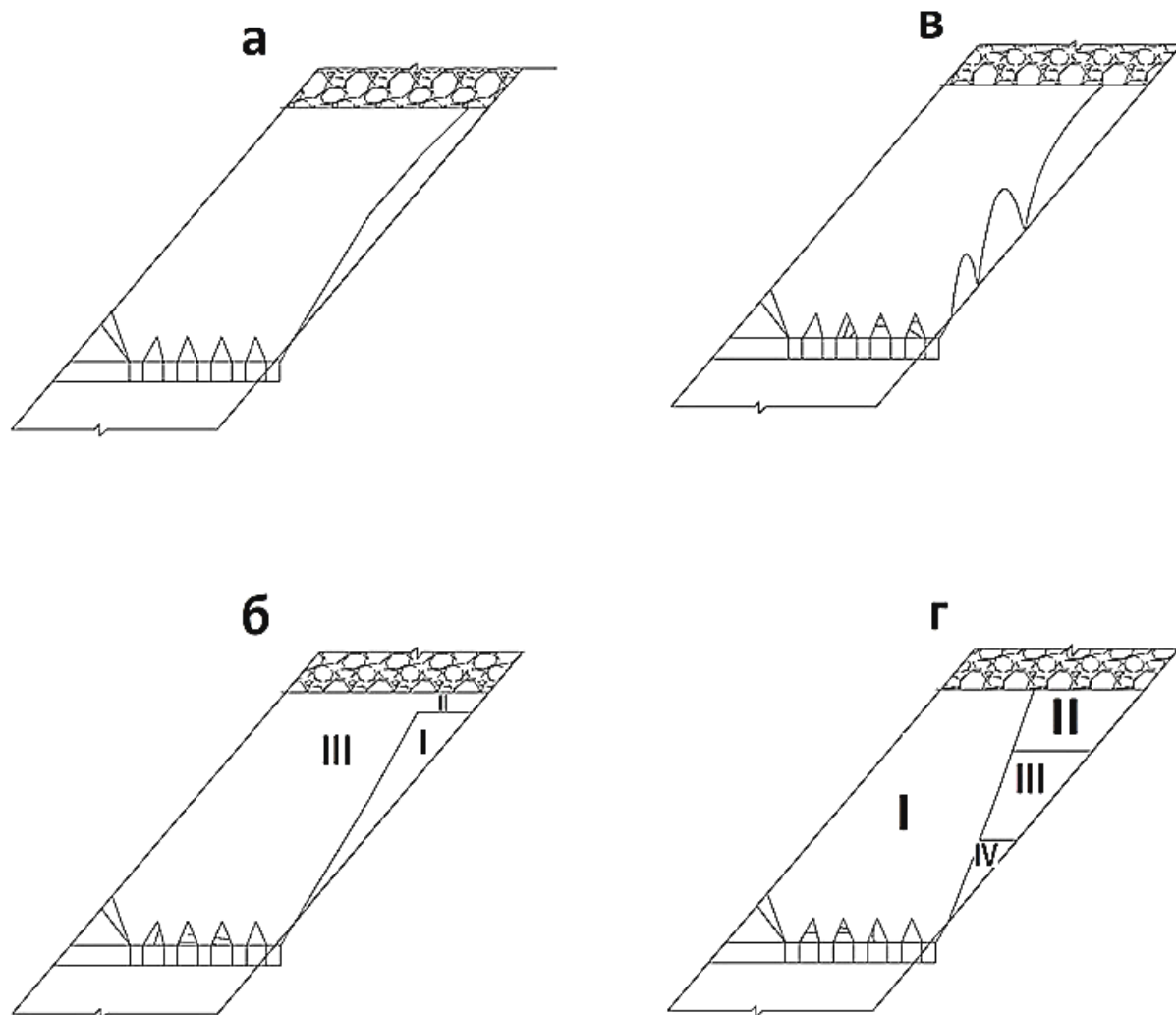


рис. 2.5. Представлені варіанти для поліпшення втрат відбитої рудної корисної копалини в трикутнику «мертвої» зони на лежачому боці покладу:

а – перші пари випускних виробок у пусті породи лежачого боку; б – формування додаткових випускних виробок на підповерххах на лежачому боці (похиле днище); в – черговість виїмки корисної копалини з «піонер камери» з лежачого боку; г – призма на лежачому боці з почерговим відпрацюванням;

Для зменшення втрат руди на лежачому боці покладу при проектуванні систем розробки з масовим обваленням необхідно розглянути кілька важливих заходів:

- Важливо визначити оптимальну глибину заглиблення крайнього ряду дучок у породі лежачого боку, враховуючи витрати на додаткові роботи та кількість руди, яку можна додатково видобути. Це дозволяє збалансувати витрати і вигоди від такого підходу.
- На шахтах, таких як "Козацька", "Бітьківщина" та "Артем-1", використовують метод роздільного відпрацювання "трикутника" пустих порід на лежачому боці і часткову розробку пустих порід. Цей підхід дозволяє ефективніше вилучати руду з лежачого боку покладу.
- Створення додаткових випускних воронок у лежачому боці є одним із ефективних і широко застосовуваних методів. Це знижує втрати руди, особливо на шахтах, таких як "Козацька", "Родіна" та "Ювілейна". У породах лежачого боку розміщують один або кілька рядів приймальних і випускних виробок, при цьому дози випуску руди визначаються відповідно до висоти шару руди над ними.
- Кількість рядів випускних дучок у лежачому боці визначається, враховуючи заданий рівень втрат руди у "мертвій" зоні. Це включає розрахунок відносних втрат і визначення необхідної кількості рядів випускних воронок для оптимізації вилучення руди.
- Розташування додаткових рядів випускних воронок у лежачому боці повинно бути таким, щоб еліпсоїди випуску суміжних виробок могли дотикатися один з одним, що дозволяє покращити ефективність процесу вилучення руди.

Застосування цих заходів дозволить значно зменшити втрати руди, підвищити продуктивність розробки і знизити витрати виробництва загалом.

$$h_1 = \frac{h_n - b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 + K_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

$$S' \leq K_3 \cdot (h_n + h_1) + d,$$

де  $b$  – ширина піввісі випуску, м;

$K_3$  –емпіричний коефіцієнт;  $K_1$  –коефіцієнта дрібнокускових руд;  $K_3 = 0,1515$  –коефіцієнт кускових руд.

Без жодних вагань можемо прийняти:  $S' \leq (1,6 \dots 1,9) \cdot b$

У сучасних умовах розвитку підземних рудників Кривого Рогу, з урахуванням тенденцій до ресурсозбереження, надзвичайно актуальним є розробка та впровадження нових варіантів систем розробки, які покращують показники видобування руди. Це включає в себе наступні ключові аспекти:

- Підвищення ефективності видобутку руди можливе через оптимальну проходку виробок, одночасно зменшуючи обсяги робіт у пустих породах. Важливо ретельно розташовувати ці виробки у лежачому боці покладу, щоб максимізувати видобуток при мінімізації витрат.
- Ефективність підземної розробки значною мірою залежить від зниження втрат і засмічення руди, що потребує уваги до природних та людських факторів, а також належної організації робіт.
- Необхідно впроваджувати ефективні системи розробки, які відповідають конкретним геологічним і гірничотехнічним умовам кожного родовища, з урахуванням усіх особливостей.
- Налаштування оптимальних параметрів для кожної системи розробки дозволяє зробити процес видобутку більш ефективним і знизити витрати.
- Важливо суворо дотримуватися встановленого режиму роботи при видобутку руди, щоб уникати порушень, які можуть призвести до зниження ефективності.
- Якісне подрібнення масиву є важливим для ефективного видобутку, що можна досягти через удосконалення буропідривних робіт.
- Використання програмного забезпечення для точного обліку показників видобутку руди є важливим для оптимізації процесів.
- Правильне ведення виймальних робіт та чіткий порядок випуску обваленої руди є критичними для підвищення продуктивності та зниження втрат.

Враховання цих аспектів допоможе покращити ефективність видобутку руди на рудниках.

У процесі розробки покладів при використанні лише одного ряду випускних воронок, розташованих у лежачому боці покладу, з великими відношеннями  $h_n/mh_n/mhn/m$ , розташування їх мало впливає на рівень умовних втрат. Ці втрати прямо пропорційні відношенню висоти  $h_{1h_1h_1}$  (відстань від дучки лежачого боку до поверхні контакту руди з породою) до  $mmm$ .

Традиційний метод відпрацювання похилих покладів корисних копалин із застосуванням системи підповерхового обвалення включає такі етапи, як виконання підготовчих та нарізних виробок, буріння глибоких свердловин у породах лежачого боку, обвалення масиву та частковий випуск руди. Особливістю цього методу є підривання паралельно розташованих свердловин на "затиснуте" середовище, що дозволяє зсувати обвалену руду з лежачого боку до зони випускних виробок.

Проте цей метод має певні недоліки. Підривання свердловин у два етапи не дає змогу значно змити руду на лежачому боці до зони потоку обваленої руди у випускних виробках. Зміщення руди під час підривання в "затиснуте" середовище обмежене (приблизно 0,9-1,4 м), що обмежує ефективність методу в плані зменшення втрат руди, особливо в "мертвій" зоні на лежачому боці покладу.

Зважаючи на це, необхідне подальше удосконалення техніки та технології для зменшення втрат руди, зокрема у "мертвій" зоні на лежачому боці покладу.

Під час випуску руди з-під обвалених порід, що налягають, значна частина руди може залишатися в зоні випуску, особливо з лежачого боку покладу. Це відбувається, коли відношення висоти панелі до потужності рудного тіла перевищує тангенс кута падіння покладу. У таких випадках обвалена маса руди опускається не вертикально, а слідує за нахилом покладу, зміщуючись в напрямку висячого боку.

Це зміщення безпосередньо впливає на кількість втрат руди, яка залишається в "мертвій" зоні, особливо на лежачому боці. Важливими

факторами, які визначають ці втрати, є висота панелі та різниця між середнім кутом випуску руди і кутом падіння рудного тіла. Чим більша різниця між цими кутами, тим вищі можуть бути втрати руди, що не вивільняється з лежачого боку.

Тому важливо точно розраховувати ці параметри при плануванні гірничих робіт та розглянути можливість впровадження додаткових методів для зменшення втрат, таких як зміна схеми випуску або використання додаткових виробок для доступу до руди в "мертвих" зонах.

## **2.2. Дослідження факторів, що безпосередньо впливають на якість видобутку корисних копалин**

У умовах підземної розробки покладів природно-багатих залізних руд Криворізького басейну на глибинах понад 1100–1200 метрів застосовуються різні варіанти систем розробки, включаючи підповерхово-камерні та системи підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід. Значна глибина розробки призводить до погіршення гірничо-геологічних умов, зокрема зниження міцності руд і вміщуючих порід. Це ускладнює проведення гірничих робіт, підвищує трудомісткість та витрати на перекріплення виробок.

У таких умовах для доставки рудної маси зазвичай використовується скреперна техніка ЛС55 та ЛС30, проте її продуктивність не відповідає потребам шахт на таких глибинах. Це призводить до зниження загальної продуктивності та збільшення втрат і засмічень руди, особливо через неможливість створення достатніх обсягів компенсаційних камер і хаотичний режим випуску.

Для вирішення цих проблем запропоновано розробити удосконалену систему підповерхового обвалення руди, яка забезпечить покращення показників вилучення корисної копалини та збільшення продуктивності праці. Ключовим аспектом такої системи є забезпечення вищої інтенсивності випуску руди. Це передбачає утворення траншеї вторинного розпушення та

використання тиску на днище приймального горизонту для збільшення інтенсивності випуску руди.

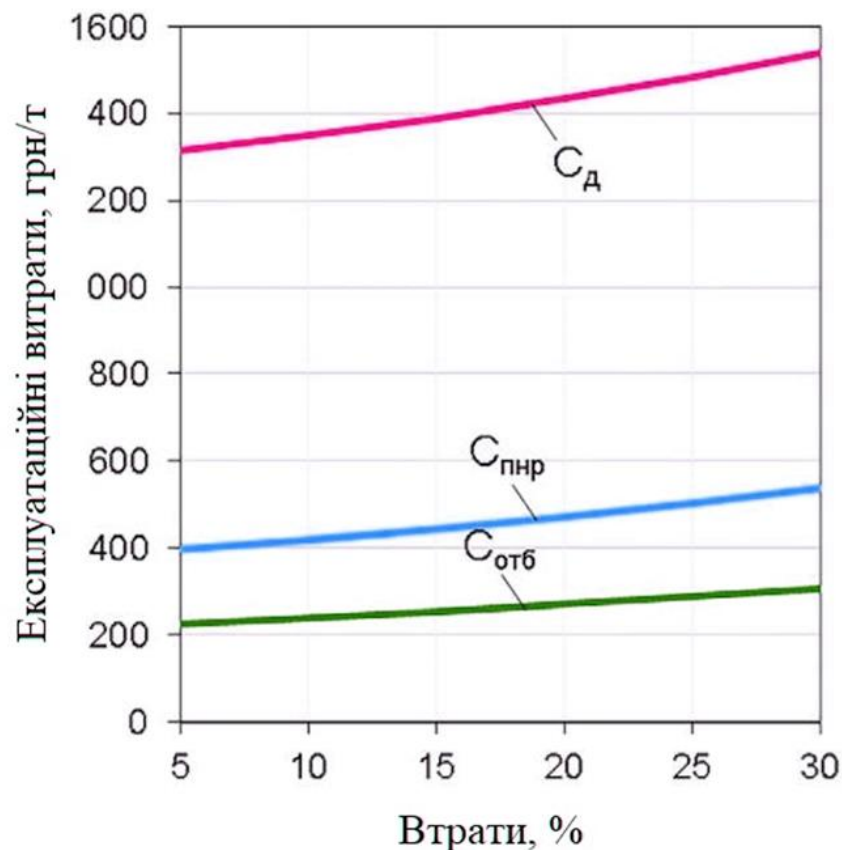


Рис. 2.6. Зміна загальних експлуатаційних витрат.

Згідно з виконаним аналізом, результати показують, що втрати корисної копалини мають прямий пропорційний вплив на основні техніко-економічні показники видобутку. Це означає, що зменшення втрат руди безпосередньо підвищує ефективність процесу видобутку.

Покращення процесу випуску руди може значно знизити втрати і засмічення, а також підвищити загальну ефективність розробки, зокрема на великих глибинах, де традиційні методи не завжди є ефективними. Впровадження нових систем потребує ретельного планування, зокрема точного моделювання гірничо-геологічних умов і оптимізації використання техніки та обладнання.

Завдяки концентрації та інтенсифікації гірничих робіт можна значно підвищити ефективність системи підповерхового обвалення. Зосередження робіт на обмеженій площі дозволяє скоротити час на підготовку та



відпрацювання панелей, раціональніше використовувати ресурси та підвищити продуктивність праці, що сприяє покращенню економічних результатів.

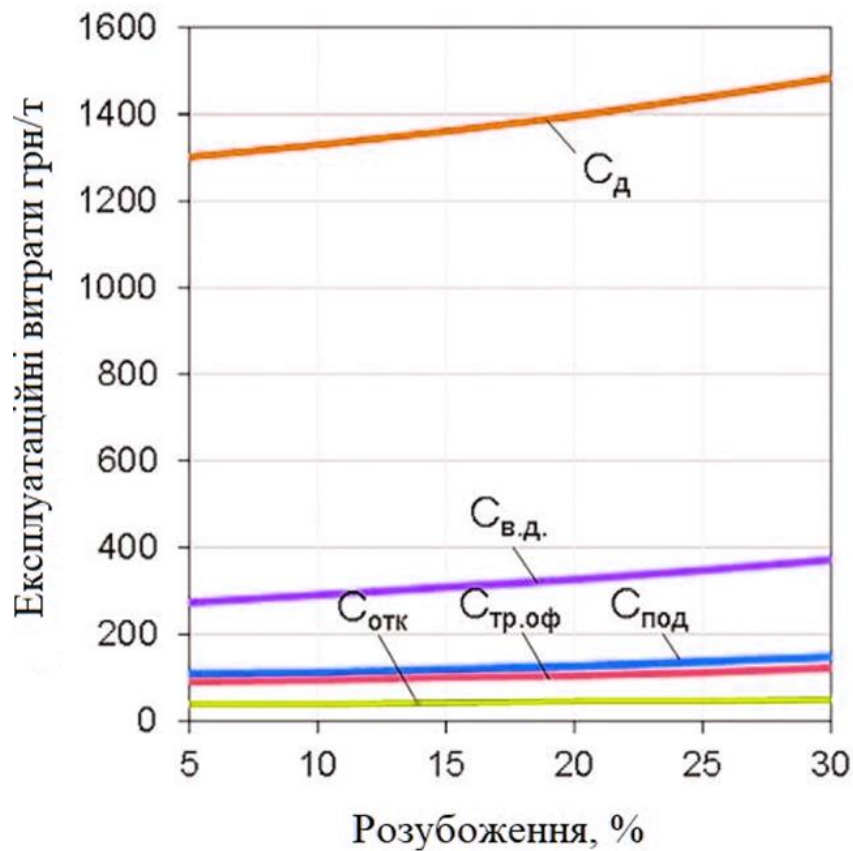


Рис. 2.7. Загальний вплив експлуатаційних витрат.

З графіка можна помітити, що розубоження безпосередньо впливає на процес випуску обваленої рудної маси, доставку руди та відкачування, а також підйом її на денну поверхню.

Інтенсивність випуску руди залежить від багатьох факторів, серед яких — якість дроблення, довжина шляху доставки, продуктивність робітників та організація праці. Важливим фактором є фізико-механічні властивості руди та вміщуючих порід. На практиці з'ясовано, що спочатку стійкі бічні породи з часом втрачають свої властивості, ставши більш схильними до утворення вивалів, що, в свою чергу, призводить до засмічення руди і зростання втрат.

Інтенсивність очисних робіт прямо пропорційна продуктивності очисного забою, але обернено пропорційна площі його роботи. Тому зменшення площі панелей, на яких здійснюється випуск заваленої руди, у

поєднанні з удосконаленням технології очисних робіт може суттєво підвищити інтенсивність виїмки.

Отже, для підвищення ефективності системи підповерхового обвалення ключовим є зменшення площі панелей, покращення розташування виробок, постійне вдосконалення технології та оптимізація контролю за гірським тиском. Це дозволить знизити втрати руди, зменшити її засмічення та підвищити загальну продуктивність процесу.

Модернізація системи розробки і покращення технології випуску руди можуть значно покращити як кількість, так і якість вилученої руди. Важливими кроками є:

- Використання сучасного обладнання для доставки руди дозволить значно збільшити обсяг перевезення, скоротити час на доставку і знизити затримки.
- Збільшення інтенсивності випуску руди допоможе швидше звільнити робочий простір для нових робіт, скоротить час простоя обладнання та збільшить обсяги вилучення руди.
- Покращення методів буро-вибухових робіт, підвищення якості подрібнення та раціональне планування випускних робіт дозволить зменшити втрати і засмічення руди, а також покращити ефективність робочих циклів.
- Використання новітніх систем моніторингу і аналітики дозволить більш ефективно контролювати процеси, швидко реагувати на зміни та оптимізувати розподіл ресурсів для досягнення максимальних результатів.

**РОЗДІЛ 3**  
**МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОКЛАДІВ**  
**ЗАЛІЗНИХ РУД**

### 3.1. Геологія шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка»

Родовищу залізних руд "Ювілейна", яке належить ПрАТ «Суха Балка», притаманна складна геологічна структура, що розташована в східній частині складчастої формації Кривбасу. В геологічному профілі родовища переважають метаморфічні породи, що перекриті осадовими відкладеннями. У межах метаморфічного шару Криво-різької серії, що оточений гранітними формаціями, виділяються чотири основні горизонти: К0 (нульовий), К1 (нижній), К2 (середній) та К3 (верхній).

- **Горизонт К0** сформований амфіболітами з вкрапленнями сланців, метапіщаників, кварцитів та інших порід, які знаходяться на східному краю покладу, вище гранітоподібних формацій. Товщина цього горизонту складає близько 1000 метрів.
- **Горизонт К1** складається з аркозових пісковиків, кварцитів, метапіщаників, а також слюдяних філілітів і хлорит-талькових сланців.
- **Горизонт К2** — основний залізорудний горизонт, який включає п'ять залізистих та шість сланцевих шарів. Його горизонтальна потужність складає приблизно 1200-1300 метрів і займає центральне положення в метаморфічному комплексі.
- **Горизонт К3**, що знаходиться вище середнього, складається з кварц-серицит-біотитових сланців та кварц-карбонатних порід, з товщиною понад 3000 метрів.

Західну межу метаморфічних порід утворюють гранітні та мігматитові масиви. Осадочні відкладення представлені глинами, пісками та четвертинними суглинками, з товщиною від 20 до 25 метрів на заході до 55-60 метрів на сході. Саксаганський розлом перетинає західне крило синкліналі, обмежуючи антиклінальну частину структури лише на західному боці, який

зрізається в зоні розлому на деяких ділянках родовища. Простирання порід орієнтоване північно-східним напрямком під азимутом 20-25 градусів.

Родовищу притаманні поклади багатих залізних руд, зокрема в п'ятому, шостому і сьомому залізистих горизонтах. Найбільшим є поклад "Головний", з горизонтальною потужністю від 5 до 50 метрів (середня потужність — 26 метрів) і довжиною 1300-1580 метрів на горизонтах гірничих робіт. Він простягається північно-східно з північно-західним падінням під кутом 45-60 градусів. Породи, що межують з покладами п'ятого залізородного горизонту, включають гідро-гематитові кварцити та кварц-хлоритові сланці.

Родовище характеризується різноманітністю рудних типів: мартитові руди складають 81%, гетит-гематит-мартитові руди — 13%, а гетит-гематитові руди — 6%. Приблизно 80% руд мають високу пористість і мають міцність від 3 до 8 балів за шкалою Протодьяконова. Вміст заліза варіюється від 46% до 68%, залежно від типу руди.

Гідрогеологічна ситуація на шахті "Ювілейна" оцінюється як задовільна. Підземні води зосереджені в кристалічних та осадових породах, маючи пластово-тріщинуватий характер. Вони зосереджуються у породах нижньої, середньої та верхньої свит. Притік підземних вод змінюється залежно від сезону та кліматичних умов, коливаючись від 200 до 250 м<sup>3</sup>/год, максимум — до 400 м<sup>3</sup>/год. Шахтні води мають високу мінералізацію (1-12 г/л) і слабкокислотну або слабколужну реакцію, що спричиняє агресивний вплив на металеві конструкції і знижує міцність бетону.

Вода, що добувається з шахти, не підходить для зрошення чи питного використання, але може бути використана для збагачення руди або поливу доріг. Водонасиченість покладів і схильність руди утримувати вологу вимагають належного дренажу перед початком відпрацювання панелей.

Залізні руди родовища характеризуються низькою міцністю і високою тріщинуватістю. Тому основними методами видобутку є системи підповерхового обвалення (80-85%) і підповерхово-камерна система (15-20%). Для обох методів використовуються глибокі свердловини, що забезпечують

відбійку руди та формування горизонтальних компенсаційних камер. Доставка руди здійснюється переважно за допомогою скреперних установок.

З огляду на глибину розробки, важливим завданням є мінімізація втрат руди на лежачому боці покладу. Одним з можливих рішень є заглиблення крайніх рядів виробок у породи лежачого боку, що дає можливість зменшити втрати руди в цій зоні. Оптимальна глибина заглиблення залежить від кута падіння покладу та обґрунтовується розрахунками, враховуючи витрати на додаткові роботи та обсяг додатково видобутої руди.

Іншим ефективним методом є створення додаткових рядів випускних виробок у лежачому боці, що вже активно застосовується на деяких шахтах. Це дозволяє зменшити втрати руди в "мертвих" зонах. Кількість таких виробок визначається відповідно до нормативних показників втрат руди, що забезпечує їх оптимальне розташування для ефективного випуску руди.

Для визначення оптимального розташування випускних воронок у лежачому боці шахтних блоків використовуються геометричні та математичні розрахунки, що ґрунтуються на характеристиках покладу, таких як кут нахилу, глибина блоків, геометричні властивості рудного тіла і умови обвалення руди. Розрахунки дають можливість точно визначити найефективніше місце для випускних виробок, щоб мінімізувати втрати руди та забезпечити оптимальний процес видобутку.

$$h_1 = \frac{h_n - b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 + K_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

$$S' \leq K_3 \cdot (h_n + h_1) + d,$$

де  $b$  – мала піввісь, м;

$K_3$  – емпіричний коефіцієнт;  $K_1$  – коефіцієнта дрібно кускових руд та  $K_3 = 0,15$  – коефіцієнта кускових руд.

Без похибки приймаємо значення:  $S' \leq (1,6 \dots 1,9) \cdot b$

### **3.2. Методика визначення параметрів буро-підричних робіт з урахуванням НДС**

При проведенні буро-підривних робіт (БПР) в умовах підземної розробки рудних покладів, важливо враховувати не лише фізико-механічні властивості рудного масиву, але й його напружено-деформований стан (НДС), оскільки цей фактор суттєво впливає на ефективність відбійки руди та загальний процес подрібнення.

Напруження в масиві руди під час вибухових робіт залежать від низки параметрів, таких як глибина гірничих робіт, розмір і конфігурація очисного простору, а також наявність компенсаційних камер. З цією метою для розрахунку параметрів БПР необхідно враховувати НДС, що визначається спеціальним коефіцієнтом, позначеним як  $k_{\sigma}$ , який відображає енерговитратність процесу вибуху. Цей коефіцієнт був визначений на основі порівняння витрат вибухових матеріалів в залежності від глибини робіт і характеристик міцності рудного масиву. За результатами цих порівнянь, коефіцієнт  $k_{\sigma}$  дозволяє точно розрахувати кількість необхідних вибухових речовин для оптимального подрібнення руди.

У разі виконання буро-вибухових робіт в умовах рівномірного відслонення, коефіцієнт енерговитратності  $k_{\sigma}$  розраховується, враховуючи енергію, що витрачається на подрібнення породи. Формули враховують як фізико-механічні характеристики руди, так і глибину виконання робіт, що дає змогу оптимізувати витрати вибухових речовин і покращити ефективність розробки.

Для коректного розрахунку параметрів вибухових робіт важливо враховувати не тільки характеристики руди, але й напруження, що виникають внаслідок різних геометричних і технічних особливостей, таких як глибина шахтних виробок, розміри та форма компенсаційних камер, геологічні особливості та властивості порід. Це дозволяє створити науково обґрунтовані методи для проведення вибухових робіт, які забезпечують максимальну ефективність та безпеку.

При оптимізації параметрів буро-підривних робіт, які враховують НДС, необхідно також розглянути різні аспекти, що впливають на вибір технології

відбійки: форму та розмір вибухової камери, вид вибухових матеріалів та їх кількість. Усі ці елементи мають значний вплив на процес подрібнення руди, зменшення втрат та покращення ефективності робіт.

Розрахунки за допомогою цього методу дозволяють значно зменшити витрати на вибухові речовини, підвищити якість та ефективність відпрацювання покладів, а також оптимізувати використання робочих ресурсів на всіх етапах видобутку.

$$k_{\sigma}^a = 1,5 + \frac{1}{q} \cdot \left( 0,4 \cdot \exp\left(-\frac{B}{W}\right) - \frac{S_a \cdot \sqrt{H}}{f \cdot 10^4} \right), \quad (3.1)$$

- відбійка масиву на вертикальне відслонення

$$k_{\sigma}^a = 1,5 + \frac{1}{q} \cdot \left( 0,4 \cdot \exp\left(-\frac{B}{W}\right) - \frac{S_a \cdot \sqrt{\frac{H \cdot \mu}{1 - \mu}}}{f \cdot 10^4} \right), \quad (3.2)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;  $H$  – глибина, ведення робіт, м;  $S_z, S_g$  – площа вертикального або горизонтального оголення, м<sup>2</sup>;  $B$  – ширина оголеної поверхні, м;

Розрахунок параметрів бурово-вибухових робіт (БВР) без врахування напружено-деформованого стану (НДС) може дати загальну оцінку ефективності дроблення руди, проте не відобразить повної картини. Врахування НДС є необхідним для точного прогнозування результатів, оскільки зміни в структурі та властивостях рудного масиву значно впливають на ефективність подрібнення і вибухових робіт.

Головними чинниками, що впливають на процес відбійки, є глибина проведення робіт і конфігурація очисного простору, зокрема параметри компенсаційних камер. Коли розробка проходить на великих глибинах, властивості рудного масиву змінюються, що збільшує потребу в вибухових матеріалах для досягнення необхідного ефекту. Крім того, геологічні умови, такі як щільність та тріщинуватість порід, безпосередньо впливають на вибір методів і техніки проведення вибухових робіт.

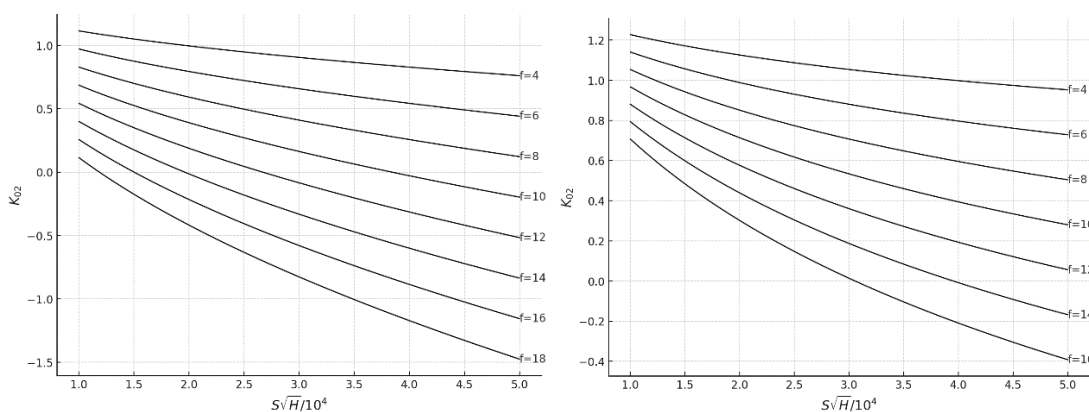


При проектуванні буро-вибухових робіт з урахуванням НДС використовуються коефіцієнти енерговитратності відбійки, що дозволяють точніше оцінити витрати на вибухові матеріали. Коефіцієнт енерговитратності, позначений як  $K_{02}$ , є ключовим показником, що відображає енергетичні витрати на відбійку руди в залежності від глибини, міцності рудного масиву та характеристик оголеної поверхні.

Цей коефіцієнт визначається через порівняння витрат вибухових речовин в залежності від глибини та властивостей рудного масиву. Для розрахунку використовуються наступні параметри:

1. **Горизонтальне відслонення руди:** формула (3.1) враховує ширину оголеної поверхні ( $B$ ), площу горизонтального відслонення ( $S_f$ ), глибину робіт ( $H$ ) та коефіцієнт Пуассона ( $\mu$ ). Це дозволяє точно оцінити кількість вибухових матеріалів, необхідних для ефективного подрібнення порід у даних умовах.
2. **Вертикальне відслонення руди:** формула (3.2) для вертикального відслонення враховує площу вертикального оголення ( $S_v$ ), а також геометричні характеристики покладів та їх властивості, що визначають необхідні витрати енергії для подрібнення.

Застосування розрахункових формул дозволяє отримати точні дані про необхідні витрати вибухових матеріалів для кожної конкретної умови. Це дає можливість оптимізувати буро-вибухові роботи, зменшити витрати на матеріали та підвищити ефективність подрібнення руди, знижуючи ризики і забезпечуючи стабільність робіт у складних гірничо-геологічних умовах.



*a*

*б*

Рис. 3.1. Графічна залежність коефіцієнта енергоємності відбійки  $k_{\sigma}$ : *a* – для горизонтального оголення; *б* – для вертикального оголення.

Якщо значення коефіцієнта енергоємності відбійки  $k_{\sigma}$  менше за одиницю, це свідчить про знижені або розтягуючі напруження в масиві, що сприяє його ослабленню. В таких умовах можна збільшувати параметри сітки розбурювання без втрати якості подрібнення руди. Це дозволяє зменшити кількість свердловин, вибухових матеріалів та засобів підривання, що в свою чергу призводить до підвищення продуктивності і зниження витрат на цей етап виробництва.

Водночас, якщо коефіцієнт  $k_{\sigma}$  перевищує одиницю, це означає, що в масиві переважають стискаючі напруження, що ускладнюють процес руйнування. У таких умовах без урахування цього фактора може погіршитися якість подрібнення руди, зокрема через збільшення числа негабаритних фракцій.

Однак існуюча методика має обмеження. Зокрема, вона визначає коефіцієнт  $k_{\sigma}$  лише для горизонтальних або вертикальних оголень, що не враховує новітні методи, зокрема похилі типи оголень компенсаційних просторів, які активно використовуються на шахтах Кривбасу для підповерхово-камерних систем та систем підповерхового обвалення. Крім того, відсутність обмежень у методиці може призвести до отримання некоректних результатів.

З метою удосконалення розрахунків, ми пропонуємо новий підхід для визначення коефіцієнта  $k_{\sigma}$  для рудних масивів, що обвалюються на похилі оголення, з використанням спеціального виразу для компенсаційного простору.

$$k_{\sigma\Pi} = k_{\sigma\Gamma} + (k_{\sigma B} - k_{\sigma\Gamma}) \cdot \text{tg}^2\Theta/2, \quad (3.3)$$

Значення коефіцієнта енергоємності відбійки гірських порід  $k_{\sigma}$  для роботи на похилому оголенні (компенсаційному просторі) можна визначити за допомогою попередньо обчислених коефіцієнтів для вертикальних  $k_{\sigma}$  і

горизонтальних  $k_{\sigma}$  оголень. У цьому розрахунку важливу роль відіграє кут нахилу оголення  $\Theta$ , який вимірюється в градусах.

При розгляді формули слід зазначити, що для кута нахилу  $0^\circ$  (горизонтальне оголення) і  $90^\circ$  (вертикальне оголення) значення  $k_{\sigma k}$  будуть відповідно рівні  $k_{\sigma k}$  та  $k_{\sigma k}$ . Зі збільшенням кута нахилу (що вказує на підвищення стійкості масиву через збільшення зони впливу стискуючих напружень), значення коефіцієнта  $k_{\sigma k}$  також зростає.

На графіку, представленою на рисунку 3.2, показана залежність числових значень  $k_{\sigma k}$  від кута нахилу оголення  $\Theta$  при конкретних умовах: міцність руди  $f=6$  балів, площа оголення  $S=400\text{м}^2$ , глибина робіт  $H=1200\text{м}$  і коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,3$ .

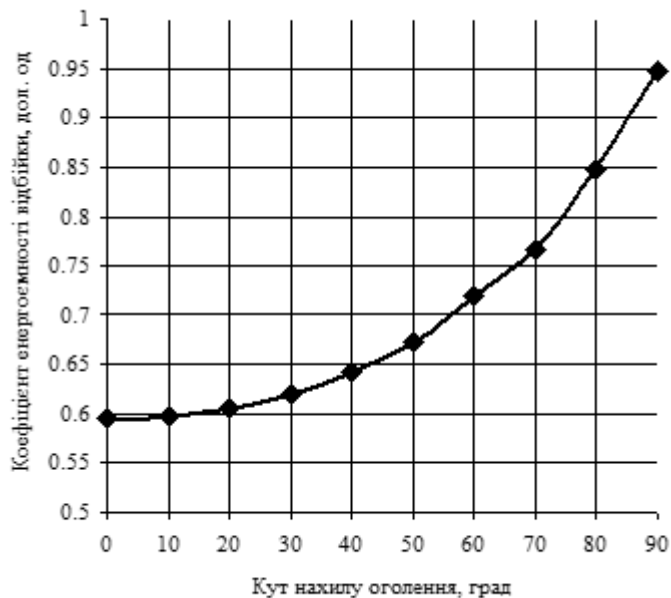


Рис. 3.2. залежність коефіцієнту енергоємності відбійки  $k_{\sigma}^n$  від кута нахилу оголення  $\Theta$ .

З аналізу даних, представлених на рисунку 3.2, можна зробити висновок, що при кутах нахилу похилого оголення в межах  $20-30^\circ$  вплив цього параметра на коефіцієнт енергоємності відбійки залишається незначним і практично ідентичний тому, що спостерігається при горизонтальних оголеннях. Однак із збільшенням кута нахилу до  $40-50^\circ$  спостерігається значний вплив на коефіцієнт енергоємності, що підтверджується результатами численних

лабораторних та чисельних досліджень, присвячених моделюванню напружено-деформованого стану (НДС) у рудо-породних масивах, а також дослідженням геомеханічних та геостатичних процесів [28-32]. Це спостереження збігається з візуальними результатами, отриманими під час спостережень на шахтах Криворізького басейну.

Подібні результати з ростом стійкості похилих оголень також підтверджені іншими дослідженнями [33], що додає достовірності отриманим висновкам.

Щодо розрахунків підриваємості гірських порід з урахуванням НДС рудного масиву, а також визначення лінії найменшого опору та питомих витрат вибухових речовин для відбійки, вони виконуються відповідно до таких виразів:

$$C_{\sigma} = \frac{C_0}{\sqrt[3]{k_{\sigma}}}; \quad (3.3)$$

$$W_{\sigma} = \frac{W}{\sqrt[3]{k_{\sigma}}} \quad (3.4)$$

$$q_{\sigma} = q \cdot k_{\sigma} \quad (3.5)$$

Згідно з дослідженнями [5], коли коефіцієнт енергоємності відбійки кшменший за 0,5, необхідно провести додаткову перевірку стійкості оголень відповідно до інструкції [33]. Це пояснюється тим, що при таких умовах у масиві можуть активізуватися розтягуючі напруження, які здатні суттєво вплинути на процес руйнування порід, що може ускладнити відбійку та збільшити втрати.

### **3.3 Методика розрахунку параметрів буро-підривних робіт для свердловинної відбійки**

Методика, запропонована Ю.П. Капленком, є важливим інструментом для оптимізації буро-підривних робіт на залізородних шахтах, зокрема на таких, як в Кривому Розі та Запоріжжі. Вона дозволяє точно визначати оптимальні параметри бурових і вибухових робіт, що забезпечують ефективне

обвалення рудних масивів, зменшення втрат руди та підвищення продуктивності.

Для розрахунку лінії найменшого опору, яка є важливою для планування вибухових робіт, використовується певна формула. Однак слід зазначити, що ця формула не враховує напружено-деформований стан (НДС) масиву, що може бути критичним для деяких умов розробки. На жаль, конкретна формула варіюється в залежності від специфіки шахти та характеристик рудного тіла, тому її точне визначення потребує спеціалізованого підходу для кожної окремої ситуації.

Застосування методики Ю.П. Капленка дозволяє оптимізувати процес вибору місць для буріння, визначення глибини та розташування свердловин, а також вибору кількості і типу вибухових речовин. Всі ці заходи в кінцевому підсумку сприяють підвищенню ефективності відбійки руди, зниженню втрат корисних копалин та забезпеченню більш ефективного проведення гірничих робіт.

Розглянемо детальний розрахунок параметрів буро-підривних робіт (БПР) з урахуванням наведеної інформації.

1. Визначення коефіцієнта енергоємності відбійки:

Враховуючи наведені значення:

$$W = k_n \cdot C_0 \cdot d \cdot \Delta \cdot \delta = 0,95 \cdot 33,1 \cdot 0,105 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 3,6$$

Отже,  $W = 3,6$  м.

2. Показник вибуховості при  $f=8$  балів за шкалою проф. Протод'яконова:

Використовуємо формулу для визначення  $C_0$ :

$$C_0 = 20 + 56 \cdot e^{-0,2 \cdot 8} = 31,2$$

3. Визначення відстані між кінцями свердловин:

Для розрахунку відстані між кінцями свердловин використовуємо:

$$\alpha = m \cdot W = 1 \cdot 3,6 = 3,6 \text{ м}$$

де  $m$  — коефіцієнт зближення свердловинних зарядів.

4. Розрахунок коефіцієнта зближення свердловинних зарядів:

Використовуємо формулу для визначення коефіцієнта  $m$ :

$$m=0,726+0,906 \cdot e^{-0,146 \cdot f}=1 \text{ м}$$

5. Визначення запасу корисної копалини в блоці:

Запас корисної копалини в блоці визначається за формулою:

$$\text{Ббл.} = L_{\text{бл.}} \cdot Mg \cdot Nr \cdot \gamma r = 50 \cdot 40 \cdot 75 \cdot 3,6 = 540,000 \text{ т}$$

6. Визначення кількості виходу руди з одного метра свердловини:

Для визначення кількості виходу руди з одного метра свердловини використовуємо формулу:

$$\lambda = QL_{\text{св.}} = \sum L_{\text{бл.р}} + \sum L_{\text{бл.п}} 0,001 \cdot \sum D_{\text{бл.р}} = 1472540000 = 2,73 \text{ м/1000 т}$$

де  $L_{\text{св.}}$  — загальна довжина свердловин, яку визначають графічним способом.

7. Визначення питомих витрат вибухових речовин (ВР):

Прогнозний вихід руди з одного метра свердловини при цих параметрах можна визначити наступним чином:

$$\text{Прогнозний вихід руди} = 23,2 \text{ т/м}$$

Ці розрахунки дозволяють більш точно планувати буро-підривні роботи, оптимізувати вибір свердловин, витрати вибухових матеріалів та забезпечити ефективність процесу видобутку руди.

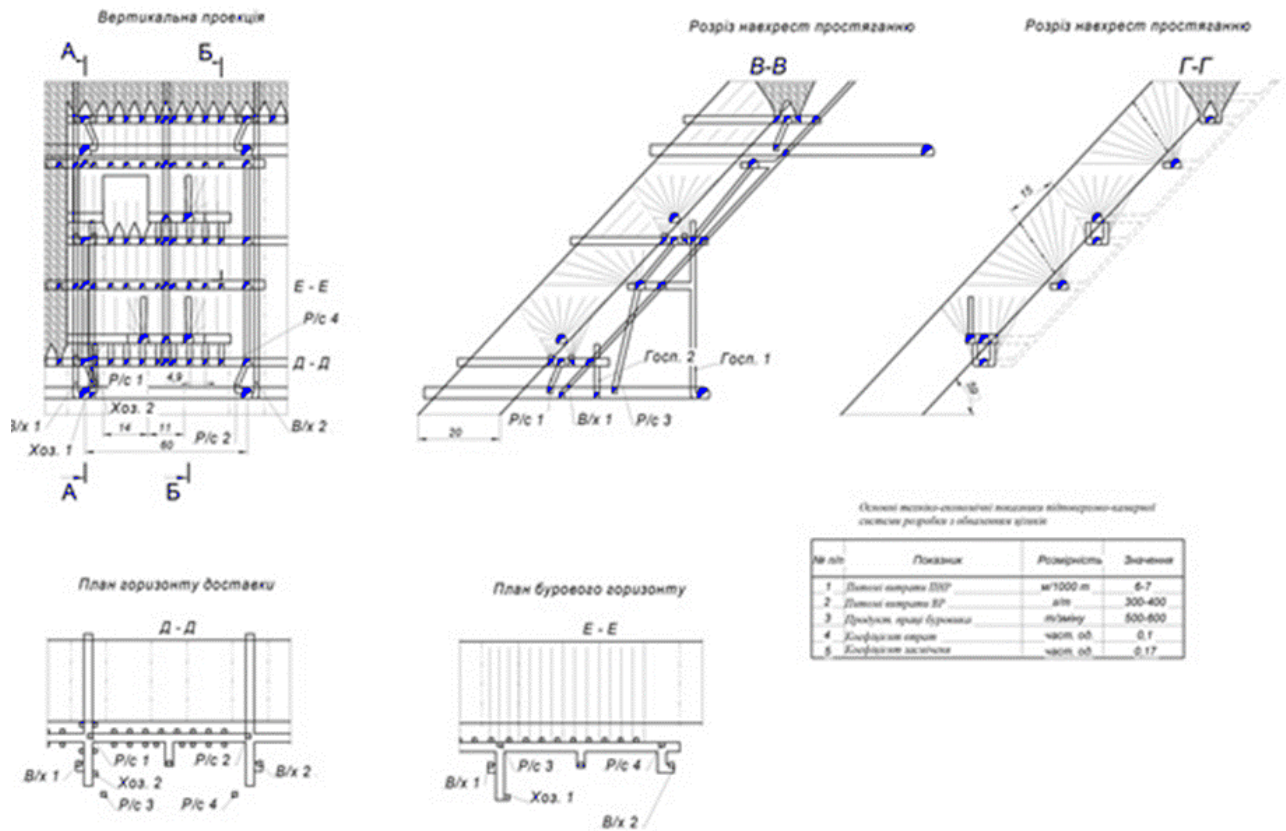


Рис. 3.3. Підповерхово камерна система розробки з обваленням ціликів

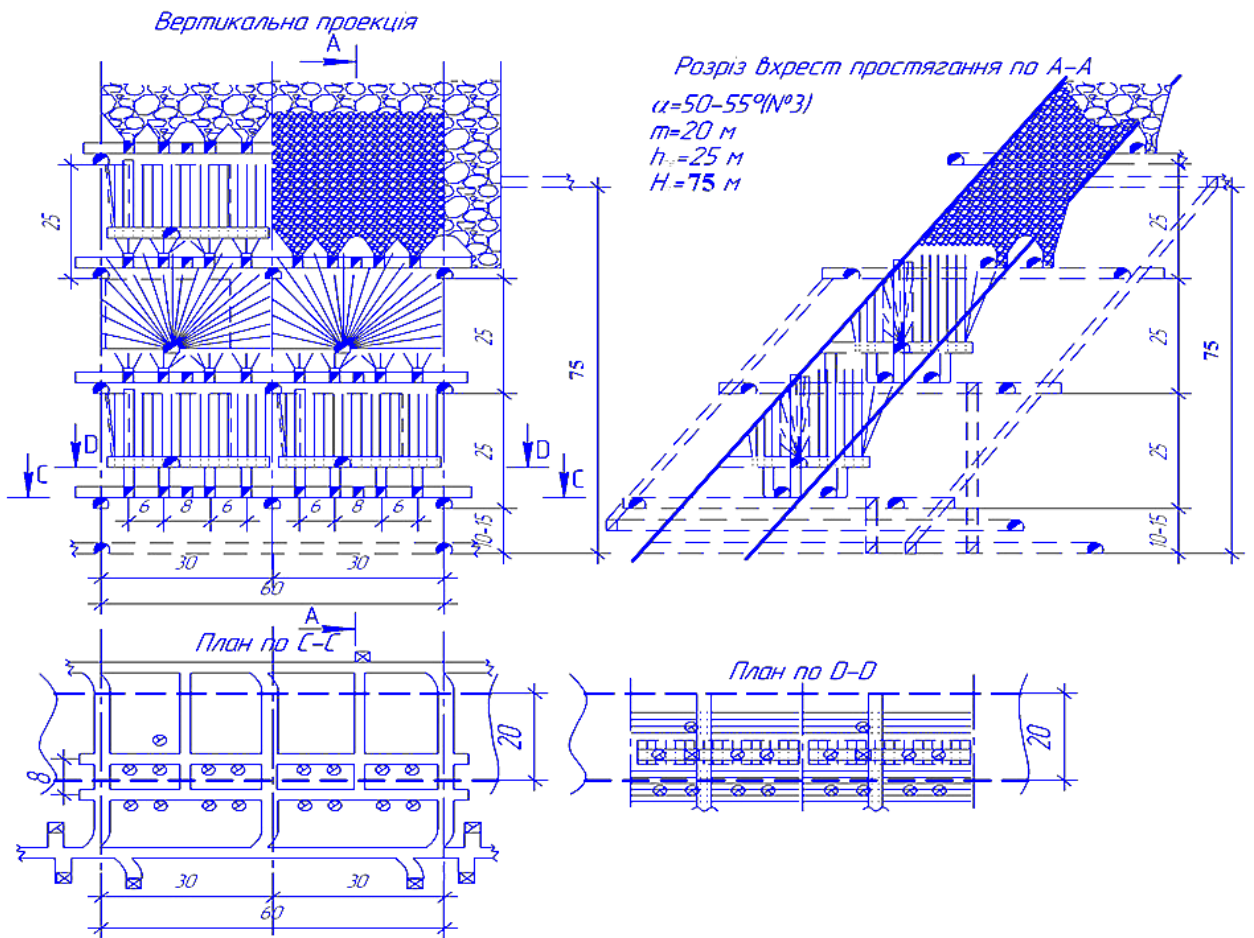


Рис. 3.4. Система розробки підповерхового обвалення

Таблиця 3.

## Техніко-економічні показники для шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суша Балка»

Показник	Ціна за одиницю	Схеми відбійки руди			
		Підповерхово камерна система розробки з обваленням ціликів		Підповерхове обвалення	
		Показник	Загальна вартість, грн	Показник	Загальна вартість, грн
Запас руди в панелі, т	-	62912	-	62912	-
Загальна довжина свердловин, м	-	2085	-	1920	-
Вихід руди з 1 м свердловини, т/м	-	30.2	-	32.7	-
Кількість змін на буріння свердловин, змін	-	65	-	60	-
Трудоємність робіт по бурінню свердловин, чол./змін	430.5	59	25399.5	54	23247
Трудоємність робіт по заряджанню свердловин, чол./змін	430.5	6	2583	5	2152.5
Питомі витрати ВР, кг/т	50	0.213	670012.8	0.197	619683.2
Питомі витрати електродетонаторів, шт/т	14	0.003	2642.3	0.002	1761.54
Питомі витрати детонуючого шнура, м/т	6.25	0.004	1572.8	0.003	1179.6
Питомі витрати стисненого повітря, м3/т	0.19	2.73	32632.45	2.52	30122.27
Питомі витрати на амортизацію бурового обладнання, грн/т	375960	-	272205.48	-	251266.6
Питомі витрати бурових коронок, шт/т	3405	0.000563	120603.25	0.00052	111391.99
Питомі витрати бурової сталі, шт/т	218	0.00152	690.89	0.0014	585.98
Загальні витрати на відбійку руди, грн	-	-	1128342.47	-	1041390.68
Питомі витрати на відбійку руди, грн/т	-	-	<b>1794</b>	-	<b>16.55</b>
Відносна економічна ефективність, %	-	-	13.2	-	8.422.7

Аналізуючи дані з таблиці 3, можна зробити висновок, що для ефективної розробки рудних покладів з низькою стійкістю найбільш оптимальним варіантом є використання методу відбійки руди вертикальними віями глибоких свердловин на вертикальний компенсаційний простір, з врахуванням його напружено-деформованого стану. Такий підхід дозволяє підвищити економічні показники на 8,4% до 22,7%, а також покращує продуктивність роботи на етапі відбійки на 10-20% порівняно з традиційними методами.



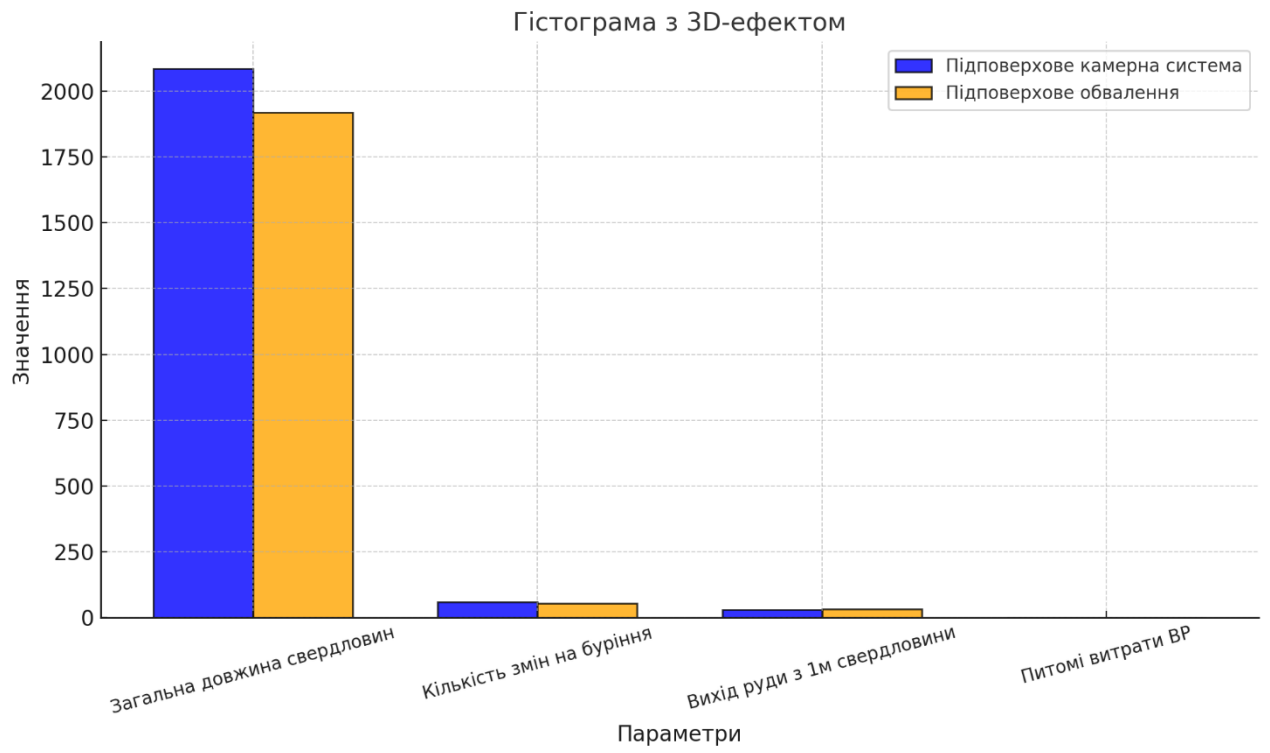


Рис.3.5. Гістограма основних параметрів систем розробки

## **Висновки**

Згідно з результатами проведених досліджень, підвищення ефективності відбійки руд середньої та високої твердості стає можливим завдяки врахуванню напруженого та деформованого стану гірських порід під час відбійки руди на вертикальний компенсаційний простір. Цей підхід дозволяє оптимізувати параметри бурових та вибухових робіт, що, в свою чергу, зменшує обсяги буріння глибоких свердловин та споживання вибухових матеріалів і засобів підриву.

Враховуючи геологічні та технічні умови видобутку на шахті "Ювілейна", був проведений техніко-економічний аналіз, що дав змогу обґрунтувати оптимальний варіант технологічної схеми відбійки руди при розробці великих ділянок рудних покладів. Це призвело до зростання економічної ефективності на 8,4% - 22,7% та підвищення продуктивності праці на 10% - 20% порівняно з традиційними методами, які використовуються в практиці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моденко В.Т. Сучасний стан досліджень механізму руйнування тріщинуватих скельних гірських масивів вибухом / В.Т. Моденко, О.О. Фролов // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ», 2017. – С. 17–18.
2. Вольфсон П. В. Оптимизация параметров днищ блоков – основной путь повышения производительности очистного забоя и снижения производственного травматизма на железорудных шахтах / Вольфсон П. В., Володий Е. Л. // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу: Зб. наук. праць ДП «НДІБПГ». – Кривий Ріг – 2008.
3. М.С. Кудрявцев, кандидат технічних наук//Вплив крупності кусків покриваючих пустих порід на показники вилучення руди.//Розробка рудних покладів, Випуск 32 1981 р./Київ. «Техніка», с. 59 – 61.
4. Калініченко В. О. Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / Калініченко В. О., Косенко А. В., Хівренко О. Я. // Качество минерального сырья: Сб. научн. трудов. – 2017. – Т. 1.
5. В.К Мартинов, М.Б. Федько Розрахунки основних виробничих операцій, процесів та систем розробки рудних родовищ [навчальний посібник]. - Кривий Ріг. Видавничий центр КТУ/ 2010 р.
6. Кононенко М.М. Вибір і розрахунок систем підземної розробки рудних родовищ: навч. посіб. / М.М. Кононенко, О.Є. Хоменко, В.Ю. Усатий. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 217 с.
7. Капленко Ю.П. Методические указания к выполнению расчетов оптимальных параметров БВР на ЭВМ М-6000. / Капленко Ю.П. – Кривой Рог: Криворож. горнорудн. ин-т, 1988. – 50 с.

8. Капленко Ю.П. Методические указания по расчету параметров буровзрывных работ. / Капленко Ю.П. – Кривой Рог: Криворож. горнорудн. ин-т, 1982. – 42 с.
9. Соболев В.В. Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. для ВНЗ / В.В. Соболев, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.
10. Федько М.Б. Удосконалення системи розробки з під поверховим обваленням руди / М.Б Федько, Д.Ф. Зенюк // Вісник КТУ. – №29. – 2011. – С. 4–6.
11. The research of the strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine “Gigant-Gliboka” of central iron ore enrichment works (CGOK) / Stupnik N.I., Kalinichenko V.O., Kalinichenko O.V, Muzika I.O., Fedko M.B., Pismennyi S.V. // Metallurgical and mining industry, No.7. – 2015. – pp. 83 – 88.
12. Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme / Stupnik N.I., Kolosov V.A., Kalinichenko V.O., Pismennyi S.V., Fedko M.B. // Metallurgical and mining industry, No.2. – 2014. – pp. 89-93.
13. Звіт з переддипломної практики, 2023.
14. Симанович Г.А. Руйнування гірських порід вибухом: навч. посіб. / Г.А. Симанович, О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Днепропетровск: НГУ, 2014. – 207 с.
15. Капленко Ю.П., Колосов В.А. Закономерности распространения волн в среде, находящейся под воздействием неоднородного поля статических напряжений // Разраб. рудн. месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – Вып.61. – 1997. – С.5-54.
16. Колосов В.А., Дядечкин Н.И. Состояние и перспективы развития сырьевой базы горно-металлургического комплекса Украины // Горный журнал. 2005. - №5. - С. 10-13.
17. Цариковский В.В., Григорьев А.П., Цариковский Вал.В. Перспективы применения различных систем разработки при подземной

добыче руд в Кривбассе // Разработка рудных месторождений. - Кривой Рог: КГУ – Вып.85. 2004. - С. 164-167.

18. Дробин Г.Ф., Яценко Л.М., Римарчук Б.И., Корниенко В.Г. Пути повышения эффективности использования сырьевой базы железорудных месторождений Украины // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2002. - №3. - С. 73-75.