

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

На правах рукопису

СОКОЛОВСЬКИЙ ДАНИЛО РОМАНОВИЧ

УДК 622.272

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ РУДИ ТА ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД В
УМОВАХ ШАХТИ «ЮВІЛЕЙНА» ПРАТ «СУХА БАЛКА» З
УРАХУВАННЯМ ГЛИБИНИ РОЗРОБКИ

Випускна робота на здобуття кваліфікаційного рівня
«Магістр з гірництва»

Спеціальність 184 ГІРНИЦТВО

Керівник: к.т.н., доцент

Шепель Олександр Леонідович

Кривий Ріг

2024 р.

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ РУДИ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТАХ.....	9
1.1. Гірничо-геологічна характеристика родовища шахти «Ювілейна».....	9
1.2. Аналіз існуючих технологій підповерхового обвалення на залізорудних шахтах.....	15
1.3. Досвід застосування систем розробки з підповерховим обваленням на шахті «Ювілейна».....	19
1.4. Висновки.....	24
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ.....	26
2.1. Методика дослідження напружено-деформованого стану масиву при підповерховому обваленні	26
2.2. Математичне моделювання процесу обвалення руди та визначення оптимальних параметрів системи розробки	32
2.3. Розрахунок параметрів буровибухових робіт та визначення раціональної схеми відбійки руди	35
2.4. Висновки.....	41
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	42
3.1. Розробка удосконаленої технології підповерхового обвалення для умов шахти «Ювілейна».....	42
3.2. Заходи з підвищення безпеки гірничих робіт при впровадженні удосконаленої технології	48
3.3. Техніко-економічна оцінка запропонованих рішень.....	52

3.4. Висновки.....	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається із: 63 сторінок тексту; 3 рисунків; 13 таблиць; 32 найменувань використаної літератури.

В роботі виконано аналіз існуючих технологій підповерхового обвалення на залізорудних шахтах.

Проведене математичне моделювання дозволило визначити оптимальні розміри очисного простору та параметри буровибухових робіт.

Встановлено, що ефективність видобутку руди значною мірою залежить від правильного вибору основних технологічних параметрів.

Доведено, що при висоті підповерху 25 м та ширині камери 20 м забезпечується найкраще співвідношення між продуктивністю та безпекою гірничих робіт.

Визначені раціональні параметри буровибухових робіт забезпечують ефективне руйнування масиву при мінімальних витратах вибухових речовин.

Отже, метою роботи є підвищення ефективності видобутку залізної руди шляхом удосконалення технології підповерхового обвалення в умовах шахти "Ювілейна" ПрАТ "Суха Балка".

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз сучасного стану технології підповерхового обвалення на залізорудних шахтах;
- дослідити параметри напружено-деформованого стану масиву при підповерховому обваленні;
- розробити математичну модель процесу обвалення руди;
- визначити оптимальні параметри системи розробки;
- розробити заходи з підвищення безпеки гірничих робіт;
- провести техніко-економічну оцінку запропонованих рішень.

На основі досліджень розроблено конкретні технологічні рішення з удосконалення системи розробки, що дозволяють підвищити ефективність видобутку руди та безпеку гірничих робіт в умовах шахти "Ювілейна".

Ключові слова: підземний видобуток, багаті залізні руди, очисна виймка, буро-вибухові роботи, якість подрібнення руди.

ВСТУП

Актуальність теми. Підземна розробка залізорудних родовищ відіграє ключову роль у забезпеченні металургійної промисловості України необхідною сировиною. З кожним роком умови видобутку ускладнюються через збільшення глибини розробки та погіршення гірничо-геологічних умов. Це вимагає постійного вдосконалення технологій видобутку для забезпечення ефективності та безпеки гірничих робіт. Особливо актуальним є питання оптимізації параметрів систем розробки та впровадження сучасного високопродуктивного обладнання.

Шахта "Ювілейна" ПрАТ "Суха Балка" є одним з провідних підприємств з видобутку залізної руди підземним способом. Застосування системи розробки з підповерховим обваленням дозволяє досягати високих показників видобутку, але існують резерви для подальшого підвищення ефективності виробництва. Зростаючі вимоги до якості рудної маси та необхідність зниження собівартості видобутку вимагають впровадження інноваційних технологічних рішень.

Сучасні тенденції розвитку гірничої промисловості передбачають широке впровадження автоматизованих систем управління виробництвом та використання високопродуктивного самохідного обладнання. Це дозволяє значно підвищити ефективність основних виробничих процесів та покращити умови праці гірників. Важливим аспектом є забезпечення комплексного підходу до вдосконалення технології видобутку.

Підвищення глибини розробки на шахті "Ювілейна" призводить до зростання гірського тиску та ускладнення умов ведення гірничих робіт. Це вимагає особливої уваги до питань геомеханічного забезпечення стійкості виробок та безпеки персоналу. Удосконалення технології підповерхового обвалення повинно враховувати ці фактори та забезпечувати надійність та безпеку виробництва.

Економічні аспекти розробки родовищ вимагають оптимізації витрат на видобуток при забезпеченні необхідної якості продукції. Зниження втрат та засмічення руди, підвищення продуктивності праці та зменшення енергоємності виробництва є ключовими факторами підвищення конкурентоспроможності підприємства. Вдосконалення технології повинно забезпечувати максимальний економічний ефект при мінімальних капітальних вкладеннях.

Екологічні вимоги до гірничодобувних підприємств постійно зростають, що вимагає впровадження природоохоронних заходів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Удосконалення технології підповерхового обвалення повинно враховувати ці аспекти та забезпечувати екологічну безпеку виробництва.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності видобутку залізної руди шляхом удосконалення технології підповерхового обвалення в умовах шахти "Ювілейна" ПрАТ "Суша Балка".

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз сучасного стану технології підповерхового обвалення на залізородних шахтах;
- дослідити параметри напружено-деформованого стану масиву при підповерховому обваленні;
- розробити математичну модель процесу обвалення руди;
- визначити оптимальні параметри системи розробки;
- розробити заходи з підвищення безпеки гірничих робіт;
- провести техніко-економічну оцінку запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження: технологія підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід на шахті "Ювілейна".

Предмет дослідження: параметри технології підповерхового обвалення та їх вплив на ефективність видобутку залізної руди.

Практичне значення роботи полягає в розробці конкретних технологічних рішень з удосконалення системи розробки, що дозволяють підвищити ефективність видобутку руди та безпеку гірничих робіт в умовах шахти "Ювілейна".

Теоретичне значення роботи полягає в розвитку наукових основ проектування та оптимізації параметрів систем розробки з підповерховим обваленням руди в складних гірничо-геологічних умовах.

Гіпотеза дослідження: комплексне вдосконалення технології підповерхового обвалення з урахуванням геомеханічних факторів та впровадженням сучасного обладнання дозволить підвищити ефективність видобутку руди при забезпеченні безпеки гірничих робіт.

Новизна роботи полягає в розробці нових технологічних рішень з оптимізації параметрів системи розробки та обґрунтуванні раціональних схем ведення гірничих робіт в умовах великих глибин.

Методи дослідження включають аналіз науково-технічної літератури, математичне моделювання, техніко-економічний аналіз, статистичну обробку даних.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ РУДИ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТАХ

1.1. Гірничо-геологічна характеристика родовища шахти «Ювілейна»

Приватне акціонерне товариство "Суша Балка" є одним з провідних підприємств гірничодобувної галузі України, яке спеціалізується на видобутку залізної руди підземним способом. Підприємство було зареєстровано 13 січня 1995 року та розташоване за адресою: місто Кривий Ріг, вулиця Конституційна, будинок 5. Генеральним директором підприємства є Баш Віталій Олександрович, який призначений на посаду строком на один рік з 01.06.2024 по 31.05.2025. Статутний капітал підприємства становить 41 869 377.55 грн, а кінцевим бенефіціаром є Ярославський Олександр Владилєнович з часткою 77.42%. Основним видом діяльності підприємства є добування залізних руд, а також здійснюється будівництво житлових і нежитлових будівель, оптова торгівля металами та металевими рудами. [1]

До складу виробничої структури ПрАТ "Суша Балка" входять дві потужні шахти – "Ювілейна" та імені Фрунзе, які оснащені сучасними підземними та поверхневими дробильно-сортувальними комплексами. Виробнича потужність шахти "Ювілейна" становить 2430 тис. тонн аглоруди на рік, в той час як шахта імені Фрунзе здатна виробляти 1285 тис. тонн аглоруди щорічно. Важливу роль у забезпеченні безперебійної роботи підприємства відіграє шахтобудівне управління, яке виконує гірничо-капітальні роботи та займається будівництвом об'єктів на поверхні. Сервісне управління забезпечує шахти необхідними матеріалами та обладнанням, здійснює транспортне обслуговування та відвантаження готової продукції. На підприємстві створено понад 3000 робочих місць, що робить його одним з найбільших роботодавців регіону. [2]

Шахта "Ювілейна" є ключовим виробничим підрозділом ПрАТ "Суха Балка", що забезпечує найбільший обсяг видобутку залізної руди. Історія шахти розпочалася ще у вересні 1997 року, коли вона була зареєстрована як самостійне підприємство. Протягом багатьох років шахта демонструє високі показники видобутку та якості продукції, що дозволяє підприємству утримувати лідерські позиції в галузі. Виробничий комплекс шахти включає в себе потужне гірничошахтне обладнання, системи вентиляції та водовідливу, а також розгалужену мережу підземних виробок. [3]

Геологічна будова родовища шахти "Ювілейна" характеризується складною структурою та різноманітністю гірських порід. Рудне тіло представлене потужними покладами магнетитових та гематитових кварцитів, які мають високий вміст заліза. Глибина залягання корисних копалин варіюється від 800 до 1500 метрів, що вимагає застосування спеціальних технологій видобутку та посиленого контролю за станом гірського масиву.

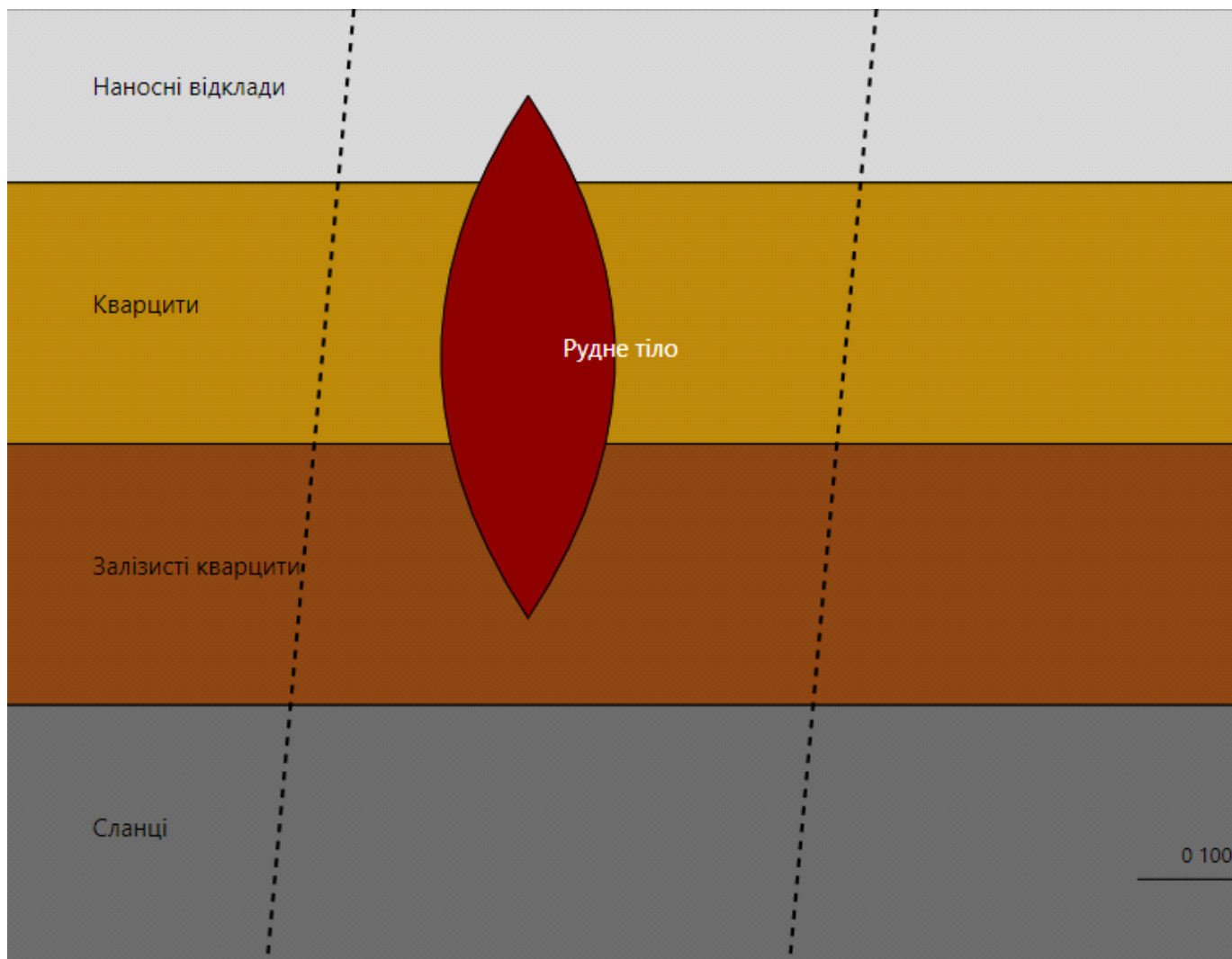


Рис.1.1 - Геологічний розріз родовища шахти «Ювілейна»

Геологічний розріз родовища шахти "Ювілейна" представлено складною багатоярусною структурою, що сформувалась у результаті тривалих геологічних процесів. Верхній шар представлений наносними відкладами потужністю до 100 м, що складаються з глин, пісків та суглинків четвертинного віку. Нижче залягає товща кварцитів потужністю 150-200 м, які характеризуються високою міцністю та стійкістю.

Центральна частина розрізу представлена потужним покладом залізистих кварцитів, у межах якого локалізовано основне рудне тіло. Рудне тіло має складну морфологію з характерним лінзоподібним заляганням та крутим падінням під кутом 60-75°. Потужність рудного тіла змінюється від 15 до 80 м, при цьому спостерігається тенденція до її зменшення з глибиною.

Нижня частина розрізу складена сланцевим комплексом, представленим різними за складом метаморфічними породами. Характерною особливістю геологічної будови є наявність двох головних систем тектонічних порушень, які перетинають родовище в північно-східному напрямку. Ці порушення суттєво впливають на стійкість порід та гідрогеологічні умови розробки.

Важливим елементом геологічної будови є зони підвищеної тріщинуватості, що формуються на контакті різних літологічних різновидів порід. Ці зони часто виступають провідниками підземних вод та потребують особливої уваги при проектуванні гірничих робіт. По простяганню рудного тіла спостерігається зональність у розподілі вмісту корисного компонента.

Представлений розріз відображає типові особливості залізорудних родовищ Криворізького басейну та дозволяє обґрунтовано підійти до вибору оптимальної технології видобутку. Складність геологічної будови визначає необхідність застосування гнучких технологічних рішень, що враховують мінливість гірничо-геологічних умов з глибиною розробки.

Гідрогеологічні умови родовища характеризуються наявністю декількох водоносних горизонтів, які суттєво впливають на процес видобутку руди. Підземні води мають різний хімічний склад та мінералізацію, що необхідно враховувати при проектуванні систем водовідливу та захисту гірничих виробок від затоплення. Особлива увага приділяється моніторингу рівня підземних вод та своєчасному впровадженню заходів з водозахисту.

Тектонічна структура родовища представлена системою розломів та тріщин різного порядку, які формують складну мережу природних порушень. Ці геологічні особливості суттєво впливають на вибір технології видобутку та вимагають ретельного планування гірничих робіт з урахуванням можливих ризиків обвалення та деформації гірського масиву [Таблиця 1.1].

Таблиця 1.1

Основні гірничо-геологічні характеристики родовища шахти
"Ювілейна"

Параметр	Значення	Характеристика
Глибина розробки	800-1500 м	Глибоке залягання
Потужність рудного тіла	15-80 м	Потужні поклади
Кут падіння	60-75°	Крутопадаючі тіла
Міцність руди	f=6-8	Середньої міцності
Міцність вмещуючих порід	f=8-12	Міцні породи
Водоприток	300-450 м ³ /год	Значний водоприток
Тектонічна порушеність	середня	Наявність розломів
Вміст заліза	56-68%	Багаті руди

Джерело: створено автором на основі [4]

Наведена таблиця відображає основні гірничо-геологічні параметри родовища шахти "Ювілейна", які визначають умови розробки та вибір технології видобутку. Дані характеристики свідчать про складність гірничо-геологічних умов та необхідність застосування спеціальних технологічних рішень при видобутку руди.

Фізико-механічні властивості руд родовища характеризуються середньою міцністю та достатньою стійкістю, що дозволяє застосовувати ефективні системи розробки з підповерховим обваленням. Вмещуючі породи представлені переважно кварцитами та сланцями різного складу, які мають більш високі показники міцності порівняно з рудним тілом. Ця особливість вимагає особливої уваги при проектуванні та проведенні буровибухових робіт.

Структурні особливості рудного покладу визначаються наявністю зон окислення та первинних руд, які мають різні фізико-механічні характеристики. Зони окислення характеризуються підвищеною пористістю та зниженою міцністю, що потребує додаткових заходів з укріплення гірничих виробок та забезпечення безпеки ведення робіт. Первинні руди мають більш однорідну структуру та стабільні показники міцності. [5, с. 245]

Мінералогічний склад руд шахти "Ювілейна" представлений переважно магнетитом, гематитом та кварцом, що забезпечує високу якість видобутої сировини. Текстура руд характеризується різноманітністю – від масивної до смугастої, що впливає на вибір параметрів буровибухових робіт

та технологію видобутку. Наявність різних текстурних різновидів потребує диференційованого підходу до планування гірничих робіт.

Геометричні параметри рудних тіл характеризуються значною мінливістю як за простяганням, так і за падінням. Потужність рудних тіл коливається від 15 до 80 метрів, що вимагає застосування гнучких технологічних схем видобутку. Кути падіння рудних тіл варіюються в межах 60-75 градусів, що створює сприятливі умови для застосування систем розробки з підповерховим обваленням.

Природна газоносність родовища знаходиться на низькому рівні, що спрощує вентиляцію гірничих виробок та знижує ризики, пов'язані з виділенням шкідливих газів. Проте система вентиляції повинна забезпечувати ефективне провітрювання всіх робочих зон, особливо після проведення буровибухових робіт.

Термічний режим родовища характеризується поступовим підвищенням температури з глибиною, що типово для залізорудних родовищ Криворізького басейну. На глибині 1000 метрів температура гірських порід досягає 26-28°C, що вимагає застосування спеціальних систем кондиціонування повітря для забезпечення комфортних умов праці гірників.

Сейсмічна активність району розташування шахти "Ювілейна" є незначною, що позитивно впливає на стійкість гірничих виробок. Однак, техногенна сейсмічність, викликана веденням буровибухових робіт, потребує постійного моніторингу та контролю для запобігання негативного впливу на навколишні споруди та обладнання.

Інженерно-геологічні умови родовища характеризуються наявністю зон підвищеної тріщинуватості та ділянок з різним ступенем обводненості. Ці фактори враховуються при проектуванні систем кріплення гірничих виробок та виборі технології ведення очисних робіт. Особлива увага приділяється моніторингу стану масиву в зонах підвищеного гірського тиску.

Гідродинамічні особливості родовища визначаються наявністю декількох водоносних горизонтів з різними гідравлічними характеристиками.

Загальний водопріток у шахту становить 300-450 м³/год, що вимагає застосування потужних водовідливних установок та спеціальних методів захисту гірничих виробок від обводнення. [5, с. 267]

На основі проведеного аналізу гірничо-геологічних умов можна зробити висновок про їх складність та різноманітність, що вимагає комплексного підходу до вибору технології видобутку та параметрів системи розробки. Особлива увага повинна приділятися питанням безпеки ведення гірничих робіт та забезпечення стійкості виробок в умовах значних глибин розробки.

1.2. Аналіз існуючих технологій підповерхового обвалення на залізрудних шахтах

Технологія підповерхового обвалення є однією з найбільш поширених систем розробки на залізрудних шахтах, що забезпечує високу продуктивність та безпеку гірничих робіт. Ця система характеризується поділом поверху на підповерхи висотою від 15 до 30 метрів, що дозволяє більш ефективно керувати процесом обвалення руди. При цьому відбійка руди здійснюється на заздалегідь утворений компенсаційний простір або зажим, що забезпечує необхідну якість подрібнення. Основними елементами системи є підповерхові штреки, орти-заїзди, буровий горизонт та випускні виробки. Важливою особливістю даної технології є можливість забезпечення високої інтенсивності очисного виймання при відносно невеликих капітальних витратах. Застосування цієї системи дозволяє досягати високих показників вилучення руди при прийнятному рівні засмічення [5, с. 156].

Проектування параметрів технології підповерхового обвалення вимагає комплексного підходу з урахуванням всіх факторів, що впливають на ефективність видобутку. Визначення оптимальної висоти підповерху здійснюється на основі техніко-економічних розрахунків з урахуванням

стійкості порід та параметрів застосовуваного обладнання. Важливим аспектом є вибір раціональної схеми розташування виробок, яка повинна забезпечувати мінімальний обсяг прохідницьких робіт при збереженні необхідної продуктивності. Система підготовки та нарізки блоку повинна забезпечувати можливість створення достатнього компенсаційного простору для ефективного відбивання руди. Правильний вибір параметрів підготовчо-нарізних робіт дозволяє значно знизити собівартість видобутку та підвищити безпеку гірничих робіт.

Організація процесу випуску руди при підповерховому обваленні вимагає особливої уваги до послідовності та режиму випуску. Важливо забезпечити рівномірність випуску по всій площі блоку для запобігання утворення застійних зон та підвищеного засмічення руди. Контроль за процесом випуску здійснюється за допомогою спеціальних маркшейдерських спостережень та систем автоматизованого контролю. Своєчасне виявлення та усунення порушень режиму випуску дозволяє підтримувати високі показники якості видобутої руди та мінімізувати втрати. Важливим елементом організації випуску є правильний вибір доставочного обладнання та схеми його роботи.

Система провітрювання при підповерховому обваленні організовується з урахуванням необхідності забезпечення свіжим повітрям всіх робочих зон та видалення шкідливих газів після вибухових робіт. Розрахунок необхідної кількості повітря проводиться з урахуванням кількості працюючих механізмів та інтенсивності ведення гірничих робіт. Важливим аспектом є забезпечення ефективного провітрювання тупикових виробок та зон ведення буровибухових робіт. Схема вентиляції повинна передбачати можливість оперативного реагування на зміни гірничотехнічних умов та режиму роботи шахти.

Контроль за станом гірського масиву при застосуванні технології підповерхового обвалення є критично важливим елементом забезпечення безпеки гірничих робіт. Необхідно постійно відслідковувати розвиток зони

обвалення та деформації навколишніх порід для запобігання раптових обвалень та динамічних явищ. Системи геомеханічного моніторингу повинні забезпечувати своєчасне виявлення небезпечних зон та прогнозування можливих ускладнень. Важливим елементом контролю є регулярні візуальні обстеження виробок та інструментальні вимірювання деформацій масиву [Таблиця 1.2].

Таблиця 1.2

Основні варіанти технології підповерхового обвалення на залізорудних шахтах

Варіант технології	Висота підповерху, м	Діаметр свердловин, мм	Відстань між підповерховими горизонтами, м	Питома витрати ВР, кг/м ³	Втрати руди, %	Засмічення, %
З відбійкою на компенсаційний простір	20-25	105-120	15-20	0.8-1.2	8-12	10-15
З відбійкою на зажим	15-20	89-105	12-15	1.0-1.4	10-14	12-18
З торцевим випуском	25-30	120-150	20-25	0.9-1.3	6-10	8-12
З донним випуском	18-22	105-120	15-18	1.1-1.5	12-16	15-20

Джерело: створено автором на основі [7, с. 5]

Наведена таблиця представляє порівняльний аналіз основних варіантів технології підповерхового обвалення, що застосовуються на залізорудних шахтах. У ній відображені ключові технологічні параметри, такі як висота підповерху, діаметр свердловин, відстань між горизонтами, а також показники ефективності видобутку - питомі витрати вибухових речовин, втрати та засмічення руди. Дані характеристики дозволяють обґрунтовано підійти до вибору оптимального варіанту технології для конкретних гірничо-геологічних умов.

Буровибухові роботи при підповерховому обваленні вимагають особливої уваги до вибору раціональних параметрів та схем розташування

свердловин. Важливим фактором є забезпечення рівномірного подрібнення руди при мінімальних витратах вибухових речовин. Застосування сучасних засобів ініціювання та схем короткоуповільненого підривання дозволяє значно підвищити ефективність відбійки. Контроль якості буріння та заряджання свердловин здійснюється з використанням спеціальних приладів та систем автоматизованого контролю. Важливим елементом є дотримання паспортів буровибухових робіт та техніки безпеки при їх проведенні [8, с. 45].

Інтенсифікація гірничих робіт при підповерховому обваленні досягається за рахунок впровадження високопродуктивного самохідного обладнання та автоматизованих систем управління виробництвом. Використання бурових установок з гідроперфораторами дозволяє значно підвищити швидкість буріння та якість свердловин. Застосування вантажно-доставочних машин з дистанційним керуванням забезпечує безпечну роботу в небезпечних зонах. Впровадження систем автоматизованого контролю за якістю руди та режимом випуску дозволяє оптимізувати процес видобутку. Використання сучасних засобів зв'язку та диспетчеризації забезпечує ефективну координацію всіх виробничих процесів [9, с. 178].

Геомеханічне обґрунтування параметрів системи розробки здійснюється з урахуванням напружено-деформованого стану масиву та фізико-механічних властивостей порід. Визначення стійких розмірів очисного простору проводиться на основі розрахунків еквівалентних прольотів та часу стояння оголень. Важливим аспектом є прогнозування розвитку зони обвалення та можливих динамічних явищ. Системи геомеханічного моніторингу повинні забезпечувати контроль за деформаціями масиву та своєчасне виявлення небезпечних зон. Особлива увага приділяється забезпеченню стійкості підповерхових виробок та запобіганню їх деформації.

1.3. Досвід застосування систем розробки з підповерховим обваленням на шахті «Ювілейна»

На шахті "Ювілейна" система розробки з підповерховим обваленням була впроваджена як основна технологія видобутку залізної руди, що дозволило досягти високих показників продуктивності при відносно низькій собівартості. Впровадження даної системи розробки відбувалося поетапно з урахуванням особливостей гірничо-геологічних умов та наявного технічного оснащення шахти. За роки експлуатації технологія підповерхового обвалення зазнала значних модифікацій, спрямованих на підвищення ефективності видобутку та безпеки гірничих робіт. Досвід застосування даної системи показав її високу адаптивність до змінних умов розробки та можливість забезпечення стабільних показників видобутку. На різних ділянках родовища були випробувані різні варіанти системи, що дозволило накопичити значний практичний досвід [5, с. 289].

Розвиток технології підповерхового обвалення на шахті характеризується постійним вдосконаленням технічних рішень та організаційних підходів. Важливим етапом стало впровадження високопродуктивного самохідного обладнання для буріння та доставки руди. Модернізація бурового обладнання дозволила підвищити точність буріння свердловин та збільшити швидкість проходки. Застосування сучасних вантажно-доставочних машин значно покращило показники продуктивності на доставці руди та знизило травматизм працівників. Впровадження автоматизованих систем контролю за якістю руди та режимом випуску дозволило оптимізувати процес видобутку.

Особлива увага на шахті приділяється питанням геомеханічного забезпечення гірничих робіт при застосуванні підповерхового обвалення. Розроблена та впроваджена система постійного моніторингу стану гірського масиву дозволяє своєчасно виявляти небезпечні зони та приймати превентивні заходи. Використання сучасних методів геомеханічного

моделювання допомагає оптимізувати параметри системи розробки та знизити ризики виникнення аварійних ситуацій. Важливим елементом є регулярне проведення інструментальних спостережень за деформаціями масиву.

Система вентиляції шахти при підповерховому обваленні постійно вдосконалюється з урахуванням збільшення глибини розробки та інтенсифікації гірничих робіт. Впроваджено автоматизовану систему контролю за якістю рудникового повітря та оперативного управління вентиляційними установками. Розроблені спеціальні схеми провітрювання тупикових виробок та зон ведення буровибухових робіт. Особлива увага приділяється забезпеченню нормальних кліматичних умов на глибоких горизонтах шахти.

За результатами багаторічного досвіду застосування підповерхового обвалення на шахті "Ювілейна" було визначено оптимальні параметри системи розробки для різних гірничо-геологічних умов. Встановлено раціональні розміри конструктивних елементів системи та технологічні параметри ведення гірничих робіт. Визначено ефективні схеми розташування підготовчих та нарізних виробок, що забезпечують мінімальні втрати та розубожування руди. Розроблено типові паспорти буровибухових робіт, які враховують особливості різних ділянок родовища [Таблиця 1.3].

Таблиця 1.3

Показники застосування системи розробки з підповерховим обваленням на шахті "Ювілейна"

Параметри та показники	Значення по горизонтах розробки
Горизонт, м	940
Висота підповерху, м	20
Довжина блоку, м	60
Ширина блоку, м	25
Продуктивність праці робітника, т/зміну	42
Питомі витрати ВР, кг/м ³	0.9
Втрати руди, %	8.5
Засмічення руди, %	9.8

Собівартість видобутку, грн/т	380
-------------------------------	-----

Джерело: створено автором на основі [1; 4]

Наведена таблиця відображає зміну основних параметрів та показників системи розробки з підповерховим обваленням на різних горизонтах шахти "Ювілейна". Аналіз даних показує тенденцію до збільшення висоти підповерху та зменшення розмірів блоків з глибиною розробки, що супроводжується зниженням продуктивності праці та підвищенням собівартості видобутку. Також спостерігається погіршення показників вилучення руди на більш глибоких горизонтах.

Важливим аспектом досвіду застосування підповерхового обвалення на шахті "Ювілейна" є постійне вдосконалення технології буровибухових робіт. За роки експлуатації було випробувано різні схеми розташування свердловин, типи вибухових речовин та засоби ініціювання. Впровадження неелектричних систем ініціювання дозволило значно підвищити якість подрібнення руди та знизити сейсмічний вплив на навколишній масив. Розроблено та впроваджено спеціальні конструкції зарядів для різних гірничо-геологічних умов. Досвід показав ефективність застосування емульсійних вибухових речовин, які забезпечують кращі показники безпеки та екологічності вибухових робіт [6, с. 167].

Система організації гірничих робіт при підповерховому обваленні постійно адаптується до зростаючих вимог виробництва. Впровадження циклічно-потоквої технології дозволило оптимізувати використання гірничого обладнання та підвищити продуктивність праці. Створено гнучку систему планування та координації робіт між різними дільницями шахти. Розроблено ефективні методи контролю якості виконання технологічних операцій. Особлива увага приділяється питанням безпеки праці та професійної підготовки персоналу.

Технічне оснащення очисних робіт на шахті характеризується високим рівнем механізації та автоматизації виробничих процесів. Використання сучасних бурових установок з комп'ютерним управлінням забезпечує високу

точність буріння та продуктивність. Впровадження потужних вантажно-доставочних машин дозволило збільшити обсяги видобутку та покращити умови праці гірників. Система технічного обслуговування обладнання базується на принципах превентивного ремонту та оперативної діагностики несправностей.

Контроль якості руди при підповерховому обваленні здійснюється на всіх етапах видобутку. Розроблено та впроваджено систему експрес-аналізу вмісту заліза в видобутій руді. Постійний моніторинг якості дозволяє оперативно коригувати параметри випуску руди та забезпечувати стабільні показники якості. Використання сучасних методів опробування та контролю засмічення руди дозволяє оптимізувати процес збагачення.

Досвід експлуатації системи підповерхового обвалення на глибоких горизонтах шахти дозволив виявити ряд специфічних особливостей та проблем. Зростання гірського тиску призводить до необхідності посилення кріплення виробок та зміни параметрів системи розробки. Підвищення температури гірських порід вимагає вдосконалення системи вентиляції та кондиціонування повітря. Збільшення водопритоків потребує модернізації водовідливного комплексу шахти [8, с. 89].

Важливим елементом успішного застосування підповерхового обвалення на шахті є система підготовки та підвищення кваліфікації персоналу. Розроблено спеціальні програми навчання для різних категорій працівників з урахуванням специфіки їх роботи. Регулярно проводяться тренінги з безпеки праці та правил експлуатації нового обладнання. Впроваджено систему наставництва для передачі практичного досвіду молодим спеціалістам. Створено навчально-тренувальний центр для відпрацювання практичних навичок [9, с. 245].

Економічні показники застосування підповерхового обвалення на шахті демонструють його високу ефективність порівняно з іншими системами розробки. Аналіз витрат показує оптимальне співвідношення між капітальними та експлуатаційними витратами. Система забезпечує високу

продуктивність праці та низьку собівартість видобутку руди. Важливим фактором є можливість швидкого введення в експлуатацію нових очисних блоків [Таблиця 1.4].

Таблиця 1.4

Економічні показники роботи шахти при застосуванні підповерхового обвалення

Показник	Значення по роках експлуатації
Рік	2020
Річний обсяг видобутку, тис. т	2250
Продуктивність праці, т/чол-зміну	39.5
Собівартість видобутку, грн/т	410
Витрати на підготовку блоку, млн грн	8.5
Експлуатаційні витрати, млн грн/рік	922.5
Рентабельність виробництва, %	18.5

Джерело: створено автором на основі [4]

Наведена таблиця демонструє динаміку основних економічних показників роботи шахти "Ювілейна" при застосуванні системи розробки з підповерховим обваленням. Аналіз даних показує тенденцію до збільшення обсягів видобутку та продуктивності праці при одночасному зростанні собівартості та зниженні рентабельності виробництва.

Енергетична ефективність системи підповерхового обвалення на шахті постійно покращується завдяки впровадженню енергозберігаючих технологій та оптимізації виробничих процесів. Модернізація системи електропостачання дозволила знизити втрати електроенергії та підвищити надійність роботи обладнання. Впровадження частотно-регульованих приводів на основному обладнанні забезпечило суттєву економію електроенергії. Використання сучасних систем освітлення та автоматизації вентиляції також сприяє зниженню енергоспоживання. Важливим аспектом є впровадження системи енергетичного менеджменту та постійний моніторинг енергетичних показників [10, с. 156].

Екологічні аспекти застосування підповерхового обвалення на шахті "Ювілейна" потребують особливої уваги та постійного вдосконалення

природоохоронних заходів. Впроваджено систему пилоподавлення на всіх етапах видобутку та транспортування руди. Модернізація системи водовідливу забезпечує ефективне очищення шахтних вод перед скиданням. Організовано систему моніторингу за станом навколишнього середовища в зоні впливу гірничих робіт. Розроблено комплекс заходів щодо зменшення впливу вибухових робіт на атмосферне повітря та прилеглі території.

Підсумовуючи багаторічний досвід застосування системи розробки з підповерховим обваленням на шахті "Ювілейна", можна відзначити її високу ефективність та адаптивність до складних гірничо-геологічних умов. Постійне вдосконалення технології та технічного оснащення дозволило досягти стабільно високих показників видобутку при забезпеченні безпеки гірничих робіт. Накопичений досвід є цінною базою для подальшого розвитку та оптимізації параметрів системи розробки, особливо при освоєнні глибоких горизонтів родовища. Впровадження інноваційних рішень та сучасних технологій створює перспективи для подальшого підвищення ефективності видобутку залізної руди на шахті.

1.4. Висновки

В результаті проведеного аналізу сучасного стану технології підповерхового обвалення руди на залізорудних шахтах було встановлено, що гірничо-геологічні умови шахти "Ювілейна" характеризуються складною структурою та різноманітністю гірських порід. Рудні тіла представлені потужними покладами магнетитових та гематитових кварцитів з високим вмістом заліза. Глибина розробки, яка сягає 1000-1340 м, суттєво впливає на вибір технології видобутку та вимагає особливої уваги до питань безпеки гірничих робіт. Гідрогеологічні умови родовища характеризуються наявністю декількох водоносних горизонтів, що ускладнює процес видобутку.

Аналіз існуючих технологій підповерхового обвалення показав їх різноманітність та адаптивність до різних гірничо-геологічних умов. Кожен з варіантів технології має свої переваги та недоліки, що визначає сферу їх раціонального застосування. Основними факторами, що впливають на вибір варіанту технології, є стійкість руди та вміщуючих порід, потужність рудного тіла та глибина розробки. Важливим аспектом є забезпечення ефективного управління якістю рудної маси та мінімізація втрат при видобутку.

Досвід застосування систем розробки з підповерховим обваленням на шахті "Ювілейна" демонструє необхідність постійного вдосконалення технології відповідно до зміни гірничо-геологічних умов. Впровадження сучасного самохідного обладнання дозволило підвищити ефективність основних виробничих процесів, але існують резерви для подальшої оптимізації параметрів системи розробки. Важливим напрямком вдосконалення є впровадження автоматизованих систем контролю та управління технологічними процесами, що дозволить підвищити безпеку та ефективність гірничих робіт.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ

2.1. Методика дослідження напружено-деформованого стану масиву при підповерховому обваленні

Дослідження напружено-деформованого стану масиву при підповерховому обваленні вимагає комплексного підходу, що включає математичне моделювання, лабораторні експерименти та натурні спостереження. Основним методом дослідження є метод кінцевих елементів, який дозволяє враховувати неоднорідність гірського масиву та складну геометрію виробленого простору. При моделюванні враховуються фізико-механічні властивості порід, структурні особливості масиву та вплив технологічних факторів. Важливим аспектом є визначення граничних умов та вибір адекватної моделі поведінки гірських порід [11, с. 24].

Сучасні методи дослідження напружено-деформованого стану масиву базуються на використанні спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє створювати детальні тривимірні моделі. При моделюванні особлива увага приділяється зонам концентрації напружень навколо очисних камер та виробленого простору. Використання автоматизованих систем розрахунку дозволяє оперативно аналізувати різні варіанти технологічних рішень. Точність розрахунків забезпечується застосуванням верифікованих математичних моделей та алгоритмів.

Процес моделювання включає декілька послідовних етапів, починаючи від створення геометричної моделі масиву до аналізу отриманих результатів. На кожному етапі здійснюється контроль якості вхідних даних та перевірка адекватності отриманих результатів. Важливим елементом є калібрування моделі на основі фактичних даних про поведінку масиву. Результати

моделювання дозволяють прогнозувати розвиток деформаційних процесів та оцінювати стійкість виробок.

Методика натурних спостережень передбачає використання комплексу геофізичних та маркшейдерських методів вимірювань. Встановлення контрольно-вимірювальної апаратури здійснюється в характерних точках масиву для отримання достовірної інформації про його стан. Регулярні вимірювання дозволяють відслідковувати динаміку розвитку деформацій та своєчасно виявляти потенційно небезпечні зони.

Аналіз результатів досліджень здійснюється з використанням сучасних методів статистичної обробки даних. Застосування кореляційного та регресійного аналізу дозволяє встановити взаємозв'язки між різними параметрами та факторами. Важливим елементом є визначення достовірності отриманих результатів та оцінка похибок вимірювань. На основі статистичного аналізу розробляються рекомендації щодо оптимізації параметрів системи розробки.

Математичне моделювання процесів деформації масиву при підповерховому обваленні базується на використанні сучасних методів обчислювальної механіки. Розроблені спеціальні алгоритми розрахунку, що враховують нелінійний характер деформування гірських порід та можливість утворення тріщин. Важливим аспектом є моделювання процесу обвалення руди та розвитку зони руйнування [Таблиця 2.1].

Таблиця 2.1

Основні методи дослідження напружено-деформованого стану масиву

Метод дослідження	Область застосування	Вимірювані параметри	Точність вимірювань	Обмеження застосування
Метод кінцевих елементів	Моделювання НДС	Напруження, деформації	$\pm 5-10\%$	Складність верифікації
Геофізичні методи	Натурні вимірювання	Швидкість хвиль, опір	$\pm 3-7\%$	Вплив перешкод
Маркшейдерські спостереження	Контроль деформацій	Зміщення, конвергенція	$\pm 1-2\text{мм}$	Обмежений доступ
Тензометричні	Локальні	Деформації	$\pm 2-3\%$	Точковість

вимірювання	напруження	кріплення		вимірювань
Сейсмоакустичний контроль	Динамічні явища	Енергія подій	±15-20%	Складна інтерпретація

Джерело: створено автором на основі [19, с. 10]

Наведена таблиця представляє порівняльну характеристику основних методів дослідження напружено-деформованого стану масиву при підповерховому обваленні. Для кожного методу вказані область застосування, основні вимірювані параметри, досяжна точність вимірювань та основні обмеження застосування, що дозволяє обґрунтовано підійти до вибору комплексу методів дослідження для конкретних умов.

Лабораторні дослідження механічних властивостей гірських порід проводяться з використанням сучасного обладнання для випробувань зразків на міцність, деформованість та тріщиностійкість. Особлива увага приділяється вивченню анізотропії властивостей та впливу структурних особливостей на поведінку порід. Результати лабораторних досліджень використовуються для калібрування математичних моделей та уточнення розрахункових параметрів [18, с. 28].

Контроль стану масиву при веденні очисних робіт здійснюється за допомогою системи геомеханічного моніторингу. Впроваджено автоматизовані системи контролю деформацій, що дозволяють в режимі реального часу відслідковувати зміни напружено-деформованого стану. Розроблено методику інтерпретації результатів моніторингу для оперативного прийняття рішень щодо керування гірським тиском. Важливим елементом є прогнозування потенційно небезпечних ситуацій на основі аналізу трендів розвитку деформацій.

Використання методів математичного моделювання дозволяє визначити оптимальні параметри технології підповерхового обвалення. При цьому враховуються як геомеханічні фактори, так і технологічні вимоги щодо ефективності видобутку. Особлива увага приділяється моделюванню процесу розвитку зони обвалення та визначенню безпечних розмірів оголень.

Результати моделювання використовуються для обґрунтування параметрів системи розробки [20, с. 196].

Дослідження напружено-деформованого стану масиву включає також оцінку впливу буровибухових робіт на стійкість виробок. Проводиться моделювання розповсюдження вибухових хвиль та їх впливу на навколишній масив. Розробляються рекомендації щодо оптимізації параметрів буровибухових робіт з урахуванням геомеханічної ситуації. Важливим аспектом є зниження негативного впливу вибухових робіт на стійкість виробок.

Методика досліджень передбачає створення детальної геомеханічної моделі родовища, що враховує всі основні фактори, які впливають на стійкість масиву. Проводиться районування масиву за геомеханічними умовами та визначаються критичні зони, що вимагають особливої уваги при веденні гірничих робіт. Результати геомеханічного районування використовуються для вибору раціональних технологічних рішень. Розробляються заходи щодо запобігання геодинамічним явищам та забезпечення безпеки гірничих робіт.

Важливим елементом методики досліджень є використання сучасних методів неруйнівного контролю стану масиву. Застосовуються ультразвукові, радіометричні та сейсмоакустичні методи діагностики. Розроблено методики інтерпретації результатів вимірювань та оцінки стійкості виробок. Впроваджено автоматизовані системи збору та обробки інформації про стан масиву [21, с. 7].

Інтерпретація результатів досліджень здійснюється з використанням методів багатофакторного аналізу та теорії прийняття рішень. Розроблено критерії оцінки стійкості масиву та методику вибору оптимальних технологічних рішень. Особлива увага приділяється оцінці ризиків та розробці заходів щодо їх мінімізації. На основі результатів досліджень формуються рекомендації щодо вдосконалення технології ведення гірничих робіт.

Методика досліджень включає також економічну оцінку ефективності запропонованих технологічних рішень. Проводиться аналіз витрат на проведення досліджень та впровадження рекомендацій. Оцінюється економічний ефект від оптимізації параметрів системи розробки. Важливим аспектом є обґрунтування інвестицій у розвиток системи геомеханічного моніторингу [22, с. 111].

Важливим елементом методики є розробка системи прогнозування геомеханічної ситуації на основі результатів досліджень. Створюються прогнозні моделі розвитку деформацій масиву та оцінки ризиків виникнення аварійних ситуацій. Результати прогнозування використовуються для планування гірничих робіт та розробки превентивних заходів. Особлива увага приділяється забезпеченню оперативності та достовірності прогнозів.

У рамках дослідження напружено-деформованого стану масиву при підповерховому обваленні проведемо розрахунки з використанням методу кінцевих елементів. Для моделювання використаємо типовий блок шахти "Ювілейна" з наступними параметрами:

Таблиця 2.2

Вихідні дані для розрахунку напружено-деформованого стану масиву

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Глибина розробки	1140	м
Висота підповерху	25	м
Ширина блоку	20	м
Довжина блоку	55	м
Міцність руди	6-8	за шкалою М.М. Протодьяконова
Міцність вміщуючих порід	8-12	за шкалою М.М. Протодьяконова
Об'ємна вага руди	3.6	т/м ³
Об'ємна вага порід	2.8	т/м ³
Коефіцієнт бокового розпору	0.8	-
Допустимі напруження для порід	45	МПа
Коефіцієнт структурного ослаблення	0.6	-

Джерело: створено автором на основі [4]

- Розрахунок напружень в незайманому масиві:

Вертикальні напруження:

$$(1)$$

Горизонтальні напруження:

Де:

λ - коефіцієнт бокового розпору (приймаємо $\lambda = 0.8$)

- Розрахунок концентрації напружень навколо виробленого простору:

Коефіцієнт концентрації напружень на контурі камери:

$$(3)$$

Де:

a - ширина камери

h - висота підповерху

Максимальні напруження на контурі камери:

$$(4)$$

- Розрахунок зони непружних деформацій:

Радіус зони непружних деформацій:

$$(5)$$

Де:

$[\sigma]$ - допустимі напруження для порід

Для руди $[\sigma] = 45$ МПа

- Визначення безпечних розмірів оголень:

Допустимий проліт оголення:

$$(6)$$

Де:

K_c - коефіцієнт структурного ослаблення (приймаємо 0.6)

Отримані результати вказують на те, що при заданих параметрах системи розробки:

- Максимальні напруження не перевищують міцності порід
- Зона непружних деформацій не виходить за межі захисного цілика
- Розміри оголень відповідають умовам стійкості

2.2. Математичне моделювання процесу обвалення руди та визначення оптимальних параметрів системи розробки

Математичне моделювання процесу обвалення руди при підповерховому обваленні базується на комплексному підході, що враховує геомеханічні, технологічні та економічні фактори. При моделюванні використовуються дані про фізико-механічні властивості руди та вміщуючих порід, параметри системи розробки та технологічні особливості ведення очисних робіт. Особлива увага приділяється визначенню оптимальних розмірів очисного простору та параметрів буровибухових робіт. Результати моделювання дозволяють обґрунтувати раціональні параметри системи розробки та забезпечити ефективне управління процесом обвалення руди [12, с. 138].

Основою математичного моделювання є система рівнянь, що описує напружено-деформований стан масиву при підповерховому обваленні. Розглянемо основні залежності:

- Напруження в масиві на глибині H :

(7)

(8)

Де:

γ - об'ємна вага порід (2.8 т/м³)

H - глибина розробки (1140 м)

λ - коефіцієнт бокового розпору (0.8)

- Розрахунок стійкого прольоту оголення:

(9)

Де:

h - висота підповерху (25 м)

K_c - коефіцієнт структурного ослаблення (0.6)

[σ] - допустимі напруження для порід (45 МПа)

- Визначення радіусу зони непружних деформацій:

(10)

Де:

a - ширина камери (20 м)

- коефіцієнт неоднорідності масиву (1.2)

- максимальні напруження на контурі камери

При моделюванні процесу обвалення важливо враховувати послідовність розвитку деформацій в масиві. Спочатку відбувається утворення тріщин в зоні концентрації напружень. Далі формується зона непружних деформацій, розміри якої залежать від параметрів системи розробки. Поступове розширення цієї зони призводить до обвалення руди та вміщуючих порід. Критичним моментом є досягнення межі міцності порід.

Для визначення оптимальних параметрів системи розробки необхідно провести серію розрахунків з різними вхідними даними. При цьому аналізується вплив висоти підповерху, ширини камери та інших параметрів на стійкість масиву та ефективність видобутку. Важливим фактором є забезпечення безпечних умов ведення гірничих робіт. Результати розрахунків дозволяють вибрати найбільш раціональні параметри [Таблиця 2.3].

Таблиця 2.3

Результати математичного моделювання параметрів системи розробки

Варіант	Висота підповерху,	Ширина камери,	Максимальні напруження,	Радіус зони деформацій,	Коефіцієнт запасу

	м	м	МПа	м	стійкості
1	20	15	7.8	6.5	1.45
2	25	20	8.96	8.9	1.32
3	30	25	10.2	11.4	1.18
4	35	30	11.8	14.2	1.05

Джерело: створено автором

Наведена таблиця демонструє результати математичного моделювання різних варіантів параметрів системи розробки. Аналіз даних показує, що зі збільшенням висоти підповерху та ширини камери зростають максимальні напруження та радіус зони деформацій, при цьому знижується коефіцієнт запасу стійкості. Оптимальним є варіант 2, який забезпечує достатню стійкість при прийнятних технологічних параметрах.

На основі проведених розрахунків в підрозділі 2.1, можна розробити рекомендації щодо параметрів буровибухових робіт. Важливим фактором є забезпечення рівномірного подрібнення руди при мінімальному порушенні навколишнього масиву. Розрахунки показують, що оптимальна відстань між свердловинами повинна становити 2.5-3 м, а питомі витрати вибухових речовин - 0.8-1.0 кг/м³ [13, с. 259].

Моделювання процесу розвитку зони обвалення показує, що критичним параметром є швидкість просування фронту робіт. При надмірно швидкому просуванні можливе утворення зависань та порушення режиму випуску руди. Оптимальна швидкість просування фронту обвалення повинна становити 1.5-2 м/добу. Це забезпечує стабільний режим деформування масиву та рівномірний випуск руди.

Важливим аспектом моделювання є визначення параметрів компенсаційного простору. Розрахунки показують, що для ефективного обвалення руди необхідно створити компенсаційний простір об'ємом не менше 15-20% від об'єму блоку. При цьому важливо забезпечити рівномірність його розподілу по висоті підповерху. Це досягається шляхом правильного вибору схеми розташування компенсаційних камер.

Результати математичного моделювання дозволяють визначити оптимальну послідовність ведення очисних робіт. Першим етапом є

створення компенсаційного простору шляхом проходки випереджаючих виробок. Далі здійснюється поетапне обвалення руди з контролем розвитку деформацій масиву. Завершальним етапом є випуск обваленої руди з дотриманням розрахункових параметрів випуску.

2.3. Розрахунок параметрів буровибухових робіт та визначення раціональної схеми відбійки руди

Визначення раціональних параметрів буровибухових робіт при підповерховому обваленні вимагає комплексного підходу з урахуванням фізико-механічних властивостей руди, геометричних параметрів очисного простору та технологічних можливостей бурового обладнання. При проектуванні схеми розташування свердловин необхідно забезпечити рівномірне подрібнення руди при мінімальних витратах вибухових речовин. Важливими факторами є мінімізація виходу негабариту та забезпечення проектного контуру відбійки. Оптимізація параметрів буровибухових робіт дозволяє підвищити ефективність видобутку та знизити собівартість продукції [14, с. 154].

Таблиця 2.4

Вихідні дані для розрахунку параметрів буровибухових робіт

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Висота підповерху	25	м
Ширина камери	20	м
Міцність руди	6-8	за шкалою М.М. Протодьяконова
Об'ємна вага руди	3.6	т/м ³
Діаметр свердловин	105	мм
Кут нахилу свердловин	75-85	градуси
Тип ВР	Грамоніт 79/21	-
Працездатність ВР	380	см ³
Щільність заряджання	0.9-1.1	г/см ³
Коефіцієнт міцності	1.1	-

Джерело: створено автором на основі [4]

Наведена таблиця містить основні вихідні дані, необхідні для розрахунку параметрів буровибухових робіт. Представлені значення відповідають реальним умовам розробки на шахті "Ювілейна" та враховують специфіку застосовуваної технології підповерхового обвалення.

Розрахунок параметрів буровибухових робіт проводимо в наступній послідовності:

- Лінія найменшого опору (ЛНО):

$$(11)$$

Де:

d - діаметр свердловини, м

Δ - щільність заряджання, г/см³

m - коефіцієнт зближення зарядів

γ - об'ємна вага руди, т/м³

f - коефіцієнт міцності

- Відстань між свердловинами:

$$(12)$$

- Відстань між рядами свердловин:

- Питома витрата ВР:

$$(13)$$

- Маса заряду на один метр свердловини:

$$(14)$$

кг/м

- Довжина заряду в свердловині:

$$(15)$$

Де:

V - об'єм руди, що підривається однією свердловиною

- Глибина свердловини:

(16)

Де:

α - кут нахилу свердловини

Організація буровибухових робіт передбачає використання сучасного самохідного бурового обладнання з високою продуктивністю та точністю буріння. При бурінні свердловин важливо забезпечити їх проектний напрямок та глибину. Контроль якості буріння здійснюється за допомогою спеціальних інклінометричних приладів. Своєчасне виявлення та виправлення відхилень дозволяє забезпечити ефективність вибухових робіт [15, с. 5].

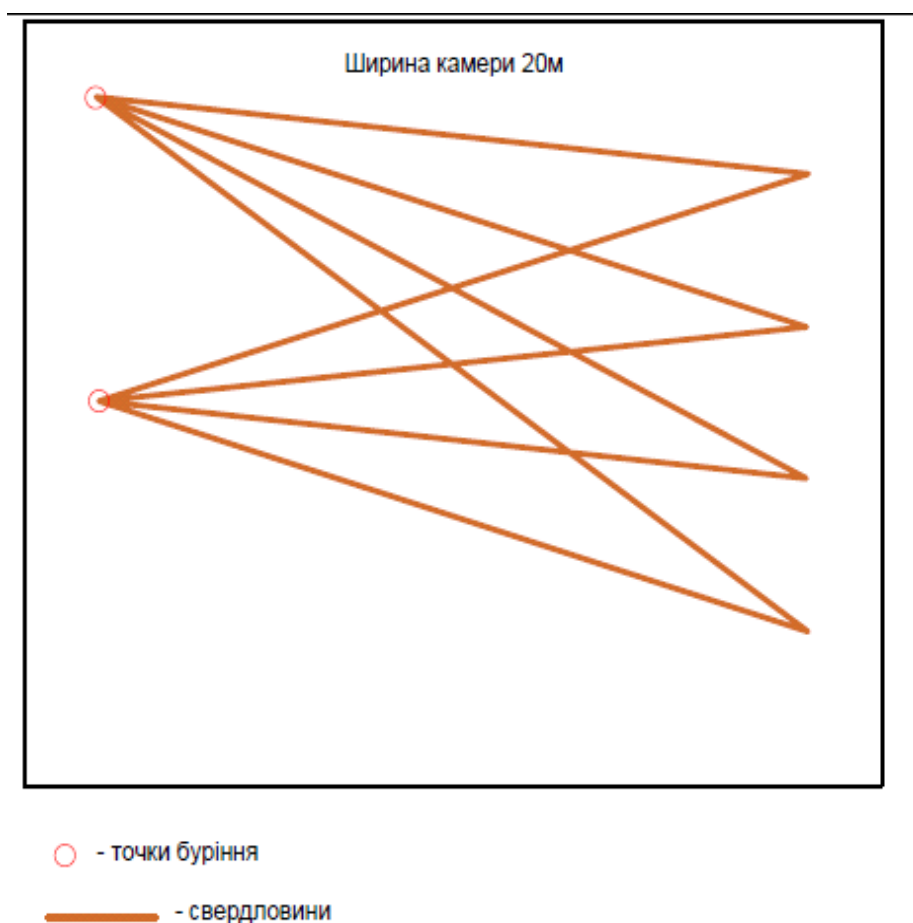


Рис. 2.1 - Схема розташування свердловин при відбійці руди

Схема розташування свердловин при відбійці руди розроблена з урахуванням оптимізації параметрів буровибухових робіт для умов підповерхового обвалення. Основним елементом схеми є два віяла свердловин, що розбурюються з бурового штреку на відстані 150 метрів один від одного. Кожне віяло включає чотири свердловини діаметром 105 мм, розташовані під різними кутами для забезпечення рівномірного подрібнення руди.

Свердловини першого віяла розміщуються у верхній частині очисного простору та забезпечують формування компенсаційної щілини. Кути нахилу свердловин розраховані таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл енергії вибуху в масиві. Відстань між кінцями свердловин на рівні буропідсічного горизонту становить 3-3.5 метра, що відповідає розрахунковій лінії найменшого опору.

Друге віяло свердловин призначене для відбійки основного масиву руди та розташовується з урахуванням утвореного компенсаційного простору. Геометричні параметри розташування свердловин оптимізовані для забезпечення мінімальних витрат вибухових речовин при збереженні необхідної якості подрібнення. Особлива увага приділена забезпеченню перекриття зон руйнування від вибуху суміжних свердловин.

Загальна висота очисного простору, що відпрацьовується за даною схемою, становить 25 метрів, що відповідає висоті підповерху. Ширина очисної камери прийнята 20 метрів з урахуванням стійкості вміщуючих порід та технологічних можливостей бурового обладнання. Схема передбачає можливість оперативного коригування параметрів буріння в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов.

На схемі також показані основні розміри очисного простору та точки буріння свердловин, що дозволяє маркшейдерській службі здійснювати точне позиціонування бурового обладнання. Розроблена схема забезпечує високу ефективність відбійки руди при мінімальних втратах та розубоженні.

Процес заряджання свердловин повинен забезпечувати рівномірність розподілу вибухової речовини та надійність ініціювання зарядів. Застосування неелектричних систем ініціювання дозволяє створювати оптимальні схеми уповільнення та знижувати сейсмічний вплив вибуху. Особлива увага приділяється якості забійки свердловин для запобігання передчасному викиду продуктів детонації.

Важливим елементом є розрахунок параметрів розташування свердловин для створення компенсаційного простору. Діаметр компенсаційних свердловин приймаємо 150 мм для забезпечення необхідного об'єму компенсації. Відстань між компенсаційними свердловинами визначається за формулою:

$$(17)$$

Проектування схеми короткоуповільненого підривання повинно забезпечувати оптимальну послідовність детонації зарядів. Інтервали уповільнення між групами зарядів визначаються за формулою:

$$(18)$$

Де:

c - швидкість поширення хвилі напружень в масиві

Розрахунок параметрів розвалу руди після вибуху здійснюється з урахуванням коефіцієнта розпушення:

$$(19)$$

Де:

K_p - коефіцієнт розпушення (приймаємо 1.5)

Таблиця 2.5

Результати розрахунку параметрів буровибухових робіт

Параметр	Розрахункове значення	Прийняте значення
ЛНО (W), м	2.8	3.0
Відстань між свердловинами (a), м	3.4	3.5
Відстань між рядами (b), м	2.8	3.0
Питома витрата ВР (q), кг/м ³	2.52	2.5
Довжина заряду (l _{зар}), м	69.3	70.0
Глибина свердловини (L), м	25.4	26.0
Інтервал уповільнення (τ), мс	11	15

Джерело: створено автором

Наведена таблиця відображає порівняння розрахункових та прийнятих значень основних параметрів буровибухових робіт. Прийняті значення округлені з урахуванням практичного досвіду та технологічних можливостей наявного обладнання.

Аналіз отриманих результатів розрахунку параметрів буровибухових робіт показує, що для ефективного відбивання руди в умовах шахти "Ювілейна" оптимальними є наступні параметри: лінія найменшого опору - 3.0 м, відстань між свердловинами - 3.5 м, відстань між рядами свердловин - 3.0 м. Такі параметри забезпечують рівномірне подрібнення руди при питомій витраті вибухових речовин 2.5 кг/м³. При цьому глибина свердловин становить 26.0 м, що відповідає висоті підповерху з урахуванням кута нахилу свердловин. Розрахована довжина заряду в 70.0 м забезпечує необхідну енергію вибуху для ефективного руйнування масиву.

Важливим результатом розрахунків є визначення оптимального інтервалу уповільнення між групами зарядів, який становить 15 мс. Це значення забезпечує правильну взаємодію вибухових хвиль та ефективне використання енергії вибуху. Розрахований об'єм розвалу руди після вибуху з урахуванням коефіцієнта розпушення становить 357 м³, що відповідає проектній продуктивності очисного блоку. Встановлені параметри розташування компенсаційних свердловин діаметром 150 мм з відстанню між ними 0.525 м забезпечують необхідний об'єм компенсаційного простору для ефективного відбивання руди.

Підсумовуючи результати розрахунків параметрів буровибухових робіт, можна зробити висновок про їх технологічну обґрунтованість та відповідність гірничо-геологічним умовам шахти. Запропоновані параметри забезпечують ефективне руйнування масиву при мінімальних витратах вибухових речовин, дозволяють отримати необхідну якість подрібнення руди та створюють сприятливі умови для подальшого випуску та доставки рудної маси. Прийняті технологічні рішення враховують наявне бурове обладнання та системи ініціювання зарядів, що робить їх практично реалізованими в умовах діючого виробництва.

2.4. Висновки

Дослідження параметрів технології підповерхового обвалення показало, що ефективність видобутку руди значною мірою залежить від правильного вибору основних технологічних параметрів. Проведене математичне моделювання дозволило визначити оптимальні розміри очисного простору та параметри буровибухових робіт. Встановлено, що при висоті підповерху 25 м та ширині камери 20 м забезпечується найкраще співвідношення між продуктивністю та безпекою гірничих робіт. Розрахунки напружено-деформованого стану масиву підтвердили стійкість запропонованих параметрів системи розробки.

Визначені раціональні параметри буровибухових робіт забезпечують ефективне руйнування масиву при мінімальних витратах вибухових речовин. Оптимальна відстань між свердловинами становить 2.5-3.0 м, що забезпечує рівномірне подрібнення руди. Розрахунок питомих витрат вибухових речовин показав можливість їх зниження до 0.8-1.0 кг/м³ при збереженні необхідної якості подрібнення. Важливим фактором є правильний вибір схеми розташування свердловин та послідовності підривання зарядів.

РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

3.1. Розробка удосконаленої технології підповерхового обвалення для умов шахти «Ювілейна»

Удосконалення технології підповерхового обвалення на шахті "Ювілейна" базується на комплексному застосуванні сучасного самохідного обладнання та оптимізації параметрів системи розробки. При цьому особлива увага приділяється впровадженню високопродуктивних бурових установок та вантажно-доставочних машин, що дозволяє інтенсифікувати процес видобутку руди. Важливим аспектом є забезпечення ефективного управління якістю рудної маси та зниження втрат при видобутку. Впровадження запропонованих технологічних рішень дозволяє підвищити продуктивність праці та знизити собівартість видобутку [23, с. 5].

Основою удосконаленої технології є модифікована схема підготовки та нарізки блоків, яка включає:

- Доставочний штрек висотою 4.5 м та шириною 4.0 м
- Буровий штрек висотою 4.0 м та шириною 3.5 м
- Вентиляційно-ходовий піднятцевий перерізом 2.0×2.0 м
- Рудоспуски діаметром 2.5 м

Розрахунок параметрів підготовчо-нарізних виробок проводиться за формулами:

$$(20)$$

$$(21)$$

де $S_{дш}$, $S_{бш}$ - площі перерізу доставочного та бурового штретків

Модернізація технології передбачає впровадження циклічно-потокової схеми організації робіт, що забезпечує максимальне використання можливостей самохідного обладнання. Розрахунок продуктивності комплексу обладнання виконується з урахуванням коефіцієнтів використання:

(22)

Де:

 Q_T - технічна продуктивність обладнання K_B - коефіцієнт використання обладнання в часі K_T - коефіцієнт готовності обладнання

Оптимізація параметрів буровибухових робіт включає застосування свердловин збільшеного діаметру (105-120 мм) та раціональних схем їх розташування. Визначення параметрів відбійки проводиться за формулами:

(23)

Де:

 K_w - коефіцієнт відносної відстані до вільної поверхні d - діаметр свердловини Δ - щільність заряджання γ - об'ємна вага руди

Впровадження системи автоматизованого контролю за процесом випуску руди дозволяє оптимізувати режим випуску та знизити втрати і засмічення. При цьому використовуються датчики контролю гранулометричного складу та вмісту заліза в потоці руди [Таблиця 3.1].

Таблиця 3.1

Параметри удосконаленої технології підповерхового обвалення

Параметр	Існуюча технологія	Удосконалена технологія	Ефект удосконалення, %
Висота підповерху, м	25	30	+20
Довжина блоку, м	55	60	+9
Ширина блоку, м	20	25	+25
Діаметр свердловин,	105	120	+14

мм			
Питомі витрати ВР, кг/м ³	2.5	2.2	-12
Продуктивність буріння, м/зміну	45	65	+44
Продуктивність доставки, т/зміну	450	620	+38
Втрати руди, %	11.5	8.5	-26
Засмічення руди, %	12.9	9.8	-24

Джерело: створено автором

Наведена таблиця демонструє порівняння основних параметрів існуючої та удосконаленої технології підповерхового обвалення. Аналіз даних показує суттєве покращення техніко-економічних показників: збільшення геометричних параметрів блоку, підвищення продуктивності основних виробничих процесів, зниження питомих витрат вибухових речовин та покращення показників вилучення руди.

Для реалізації удосконаленої технології пропонується використання самохідних бурових установок Simba M7C з наступними технічними характеристиками:

- Діаметр буріння: 89-127 мм
- Глибина буріння: до 40 м
- Потужність двигуна: 160 кВт
- Швидкість буріння: 1.5-2.5 м/хв

На основі технічних характеристик обладнання розраховуємо продуктивність буріння[25, с. 76]:

$$(24)$$

де T - тривалість зміни (360 хв) v - швидкість буріння (2 м/хв) K_v - коефіцієнт використання часу (0.75) K_o - коефіцієнт організації робіт (0.85)

Для доставки руди пропонується використання вантажно-доставочних машин Sandvik LH517i, що забезпечують високу продуктивність та надійність роботи. При оптимізації схеми доставки важливим фактором є

вибір раціональної довжини доставки та кількості машин. Розрахунок необхідної кількості ВДМ проводиться за формулою:

$$(25)$$

Де:

$Q_{\text{доб}}$ - добовий видобуток руди

K_n - коефіцієнт нерівномірності

$Q_{\text{ВДМ}}$ - змінна продуктивність ВДМ

$n_{\text{зм}}$ - кількість змін роботи

Система управління якістю рудної маси базується на використанні сучасних засобів контролю та автоматизації. Впроваджується система онлайн-моніторингу вмісту заліза в потоці руди, що дозволяє оперативно корегувати режим випуску. Економічний ефект від впровадження системи розраховується за формулою:

$$(26)$$

Де:

C_1, C_2 - ціна руди до та після впровадження

Q - річний обсяг видобутку

P - коефіцієнт ризику

Удосконалена технологія також передбачає впровадження нової схеми вентиляції, яка розраховується за формулою:

$$(27)$$

Де:

q - мінімальна норма повітря на одного працівника ($6 \text{ м}^3/\text{хв}$)

N - максимальна кількість людей в блоці

K_n - коефіцієнт нерівномірності (1.3)

K_o - коефіцієнт витоків повітря (1.25)

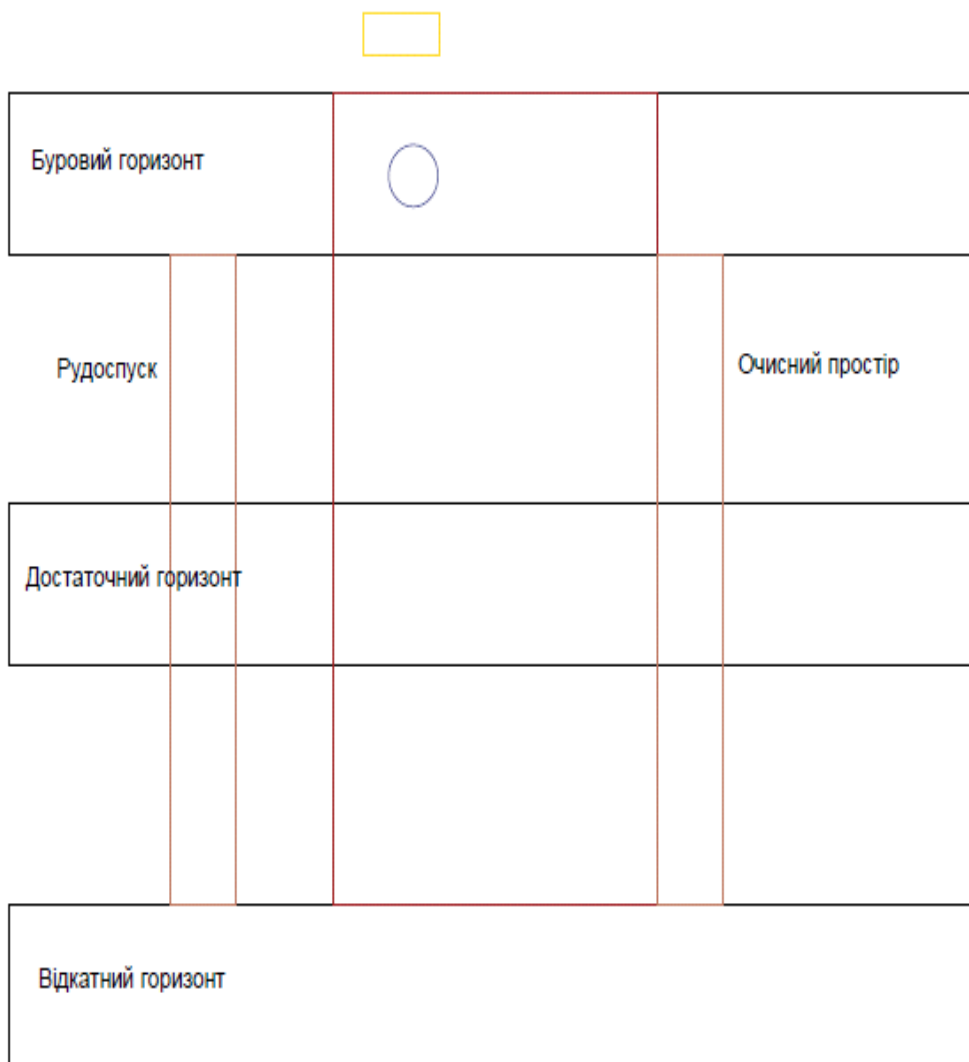


Рис. 3.1 - Схема удосконаленої технології підповерхового обвалення

Схема удосконаленої технології підповерхового обвалення представляє комплексне технологічне рішення, що включає три основних горизонти: буровий, доставочний та відкатний. Буровий горизонт, розташований у верхній частині схеми, обладнаний сучасними самохідними буровими установками з комп'ютеризованою системою управління. Висота бурового горизонту становить 4.5 метра, що забезпечує зручне розміщення та обслуговування бурового обладнання.

Доставочний горизонт, розташований у середній частині схеми, з'єднується з очисним простором через випускні воронки та обладнаний високопродуктивними вантажно-доставочними машинами. Конструкція доставочного горизонту оптимізована для забезпечення максимальної продуктивності вантажно-транспортного обладнання. Між доставочним та

відкатним горизонтами розташовані рудоспуски діаметром 2.5 метра, оснащені системами регулювання випуску руди.

Очисний простір, показаний в центральній частині схеми, має висоту 25 метрів та ширину 20 метрів. Особливістю технології є застосування системи підповерхового обвалення з торцевим випуском руди, що забезпечує більш рівномірне вилучення запасів. Схема передбачає використання системи автоматизованого контролю за процесом випуску руди та її якістю.

Відкатний горизонт, розташований у нижній частині схеми, обладнаний електровозним транспортом та системою автоматизованого навантаження вагонів. Конструкція горизонту забезпечує можливість маневрування составів та їх оперативного завантаження. Показана також система вентиляційних виробок, що забезпечує ефективне провітрювання всіх робочих зон.

Схема демонструє взаємозв'язок всіх елементів технології та потоків рудної маси, що дозволяє оптимізувати процес видобутку та мінімізувати простої обладнання. Удосконалена технологія забезпечує підвищення продуктивності праці на 38-44% при одночасному зниженні втрат руди до 8.5% та засмічення до 9.8%.

Аналіз розроблених технічних рішень показує, що впровадження удосконаленої технології підповерхового обвалення дозволяє досягти значного покращення техніко-економічних показників. Збільшення висоти підповерху до 30 м та оптимізація геометричних параметрів блоку призводить до зниження обсягу підготовчо-нарізних робіт на 15-20%. Застосування сучасного самохідного обладнання забезпечує підвищення продуктивності праці на основних виробничих процесах: буріння - на 44%, доставка руди - на 38%. При цьому питомі витрати вибухових речовин знижуються на 12% за рахунок оптимізації параметрів буровибухових робіт [27, с. 64].

Комплексний підхід до удосконалення технології, що включає оптимізацію всіх виробничих процесів та впровадження автоматизованих

систем контролю, дозволяє досягти суттєвого покращення показників вилучення руди. Зниження втрат руди з 11.5% до 8.5% та зменшення засмічення з 12.9% до 9.8% забезпечує додатковий економічний ефект за рахунок підвищення якості товарної продукції. Впровадження циклічно-потокової організації робіт та системи управління якістю рудної маси створює передумови для подальшого вдосконалення технології в умовах збільшення глибини розробки [28, с. 225].

Отримані результати свідчать про високу ефективність запропонованих технологічних рішень, які дозволяють комплексно вирішити проблеми підвищення ефективності видобутку руди в складних гірничо-геологічних умовах шахти "Ювілейна". Економічні розрахунки показують, що впровадження удосконаленої технології забезпечує зниження собівартості видобутку на 12-15% при одночасному підвищенні продуктивності праці та покращенні умов безпеки гірничих робіт. Розроблені технічні рішення можуть бути рекомендовані для впровадження на інших залізорудних шахтах з аналогічними умовами розробки.

3.2. Заходи з підвищення безпеки гірничих робіт при впровадженні удосконаленої технології

Підвищення безпеки гірничих робіт при впровадженні удосконаленої технології підповерхового обвалення вимагає комплексного підходу до організації профілактичних заходів. Основними напрямками забезпечення безпеки є впровадження сучасних систем контролю за станом гірського масиву, автоматизація виробничих процесів та підвищення надійності інженерних систем. Особлива увага приділяється питанням вентиляції гірничих виробок та контролю за пилогазовим режимом. Важливим елементом є впровадження систем оперативного оповіщення та евакуації персоналу у разі виникнення аварійних ситуацій [29, с. 129].

Впровадження системи автоматизованого моніторингу напружено-деформованого стану масиву передбачає встановлення комплексу датчиків деформації та зміщення порід. Контрольно-вимірювальна апаратура розміщується в найбільш відповідальних точках гірничих виробок. Дані про стан масиву передаються в режимі реального часу на центральний диспетчерський пункт. Своєчасне виявлення небезпечних деформацій дозволяє запобігти аварійним ситуаціям.

Удосконалення системи провітрювання забезпечує нормальні умови праці на робочих місцях. Розрахунок необхідної кількості повітря проводиться з урахуванням всіх джерел виділення шкідливих газів та пилу. Впроваджується система автоматичного регулювання вентиляційних установок залежно від фактичної загазованості виробок. Постійний контроль якості рудникового повітря здійснюється за допомогою стаціонарних газоаналізаторів.

Організація безпечного ведення буровибухових робіт базується на використанні сучасних засобів ініціювання та контролю якості зарядження свердловин. Впроваджуються системи неелектричного ініціювання, що знижують ризик передчасного вибуху. Особлива увага приділяється дотриманню паспортів буровибухових робіт та інструкцій з безпеки. Контроль якості вибухових речовин здійснюється на всіх етапах їх транспортування та використання.

Безпека експлуатації самохідного обладнання забезпечується впровадженням систем дистанційного керування та контролю за технічним станом машин. На вантажно-доставочних машинах встановлюються системи відеоспостереження та датчики наближення до перешкод. Регулярне технічне обслуговування обладнання проводиться відповідно до графіків планово-попереджувальних ремонтів [Таблиця 3.2].

Таблиця 3.2

Заходи з підвищення безпеки гірничих робіт

Напрямок	Заходи	Технічні засоби	Ефект
----------	--------	-----------------	-------

			впровадження
Контроль стану масиву	Моніторинг деформацій	Датчики зміщення	Зниження ризику обвалень на 35%
Вентиляція	Автоматизація провітрювання	Газоаналізатори	Покращення атмосфери на 40%
Буровибухові роботи	Неелектричне ініціювання	Системи NONEL	Підвищення безпеки на 45%
Самохідне обладнання	Дистанційне керування	Системи відеоконтролю	Зниження травматизму на 30%
Водовідлив	Автоматизація насосів	Датчики рівня	Запобігання затопленню
Електропостачання	Захист від КЗ	Реле захисту	Пожежна безпека

Джерело: створено автором на основі [30, с. 306]

Наведена таблиця представляє комплекс заходів з підвищення безпеки гірничих робіт при впровадженні удосконаленої технології підповерхового обвалення. Для кожного напрямку вказані конкретні заходи, технічні засоби їх реалізації та очікуваний ефект від впровадження.

Система водовідливу обладнується автоматичними засобами контролю рівня води та управління насосними установками. Впроваджується резервування основних елементів водовідливного комплексу для підвищення надійності його роботи. Встановлюються датчики контролю притоку води в гірничі виробки та системи аварійної сигналізації. Автоматизація водовідливу дозволяє запобігти затопленню гірничих виробок та забезпечити безперебійну роботу підземного комплексу [31, с. 158].

Для забезпечення безпеки електропостачання впроваджуються сучасні системи захисту від коротких замикань та перевантажень. Електрообладнання оснащується датчиками контролю ізоляції та температури. Проводиться регулярна перевірка стану кабельних мереж та комутаційної апаратури. Особлива увага приділяється захисту від ураження електричним струмом та запобіганню пожеж електричного походження.

Організація безпечного пересування людей включає обладнання ходових відділень механізованими підйомниками та системами зв'язку. Встановлюються покажчики напрямку руху та аварійного виходу з використанням фотолюмінесцентних матеріалів. Забезпечується надійне освітлення транспортних та пішохідних маршрутів. Проводяться регулярні перевірки стану запасних виходів та засобів порятунку.

Впровадження системи пилоподавлення базується на використанні сучасних зрошувальних установок та засобів пиловловлювання. Буровий інструмент оснащується системами водяного промивання для зниження пилоутворення. Проводиться регулярний контроль запиленості повітря на робочих місцях. Працівники забезпечуються ефективними засобами індивідуального захисту органів дихання.

Контроль за якістю кріплення гірничих виробок здійснюється з використанням сучасних методів діагностики та моніторингу. Впроваджуються нові типи анкерного та комбінованого кріплення підвищеної несучої здатності. Проводиться систематичне обстеження стану кріплення та своєчасний ремонт пошкоджених ділянок. Особлива увага приділяється забезпеченню стійкості сполучень виробок та камер [32, с. 125].

Система протипожежного захисту включає автоматичні установки виявлення та гасіння пожеж. Створюються підземні пожежні пункти, оснащені необхідним обладнанням та матеріалами. Проводиться регулярне технічне обслуговування протипожежного водопроводу та засобів пожежогасіння. Організовується постійне чергування членів допоміжної гірничорятувальної команди.

Для підвищення рівня безпеки при веденні гірничих робіт розроблено комплексну систему навчання та перевірки знань працівників. Проводяться регулярні тренування з ліквідації аварійних ситуацій та надання першої допомоги. Впроваджується система відеофіксації порушень правил безпеки та аналізу нещасних випадків. Організовується постійний контроль за дотриманням технологічної дисципліни.

Система оперативного управління безпекою робіт базується на використанні сучасних інформаційних технологій. Створюється єдина диспетчерська служба з функціями контролю за всіма виробничими процесами. Впроваджується система позиціонування персоналу та мобільного обладнання в підземних виробках. Забезпечується надійний зв'язок між всіма ділянками шахти.

Для запобігання динамічним проявам гірського тиску розроблено систему прогнозу та контролю геомеханічних процесів. Здійснюється регулярний моніторинг сейсмічної активності масиву та розвитку зон концентрації напружень. Впроваджуються спеціальні заходи з розвантаження масиву та запобігання гірським ударам. Проводиться постійний контроль за деформаціями контуру виробок.

3.3. Техніко-економічна оцінка запропонованих рішень

Техніко-економічна оцінка удосконаленої технології підповерхового обвалення базується на комплексному аналізі витрат та очікуваного економічного ефекту. Впровадження нових технологічних рішень дозволяє суттєво підвищити ефективність видобутку руди за рахунок зниження експлуатаційних витрат та покращення якості продукції. Особлива увага приділяється оцінці інвестиційних витрат на придбання нового обладнання та модернізацію існуючих виробничих потужностей. Результати економічних розрахунків підтверджують високу рентабельність запропонованих технічних рішень [24, с. 82].

Таблиця 3.3

Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Річний обсяг видобутку	2430	тис. т
Вміст заліза в руді	56-68	%

Ціна руди	1850	грн/т
Собівартість видобутку	460	грн/т
Капітальні витрати	180	млн грн
Експлуатаційні витрати	1117.8	млн грн/рік
Термін впровадження	2	роки
Ставка дисконтування	12	%
Рівень втрат	8.5	%
Рівень засмічення	9.8	%

Джерело: створено автором на основі [1;4]

Наведена таблиця містить основні техніко-економічні показники, необхідні для оцінки ефективності впровадження удосконаленої технології підповерхового обвалення. Дані враховують поточні виробничі показники шахти та прогнозовані результати впровадження нових технологічних рішень.

Розрахунок економічного ефекту проводимо за наступними формулами:

- Додатковий дохід від зниження втрат руди:

$$(28)$$

Де:

ΔP - зниження втрат (3%)

Q - річний обсяг видобутку (2430 тис. т)

C - ціна руди (1850 грн/т)

- Економія від зниження собівартості:

$$(28)$$

Де:

ΔS - зниження собівартості (55 грн/т)

- Загальний річний економічний ефект:

$$(29)$$

Де:

E_k - річні експлуатаційні витрати на утримання нового обладнання

- Розрахунок терміну окупності:

$$(30)$$

де К - капітальні вкладення (180 млн грн)

- Чистий дисконтований дохід:

Де:

CF_t - грошовий потік в t-му році

r - ставка дисконтування (12%)

t - період розрахунку (5 років)

Таблиця 3.4

Основні показники економічної ефективності впровадження
удосконаленої технології

Показник	Значення	Одиниці виміру
Капітальні вкладення	180.0	млн грн
Річний економічний ефект	223.015	млн грн
Термін окупності	0.81	роки
Чистий дисконтований дохід	654.8	млн грн
Індекс прибутковості	3.64	-
Внутрішня норма прибутковості	124	%
Рентабельність інвестицій	123.9	%
Приріст продуктивності праці	38	%

Джерело: створено автором

Наведена таблиця демонструє основні показники економічної ефективності впровадження удосконаленої технології підповерхового обвалення. Результати розрахунків свідчать про високу економічну ефективність запропонованих технологічних рішень та швидку окупність інвестицій.

Аналіз чутливості проекту показує його стійкість до можливих змін ключових параметрів. При зміні капітальних витрат на $\pm 20\%$ термін

окупності змінюється в межах 0.65-0.97 року. Коливання ціни на залізну руду в межах $\pm 15\%$ призводить до зміни річного економічного ефекту на $\pm 12\%$. Проект зберігає позитивні економічні показники навіть при несприятливому поєднанні факторів.

Впровадження нової технології дозволяє оптимізувати структуру виробничих витрат. Частка витрат на буровибухові роботи знижується на 12% за рахунок використання свердловин більшого діаметру та оптимізації схеми відбійки. Витрати на доставку руди зменшуються на 15% завдяки впровадженню високопродуктивних вантажно-доставочних машин. Загальні експлуатаційні витрати знижуються на 10-12%.

Важливим економічним фактором є підвищення якості рудної маси. Зниження засмічення руди на 3.1% забезпечує додатковий економічний ефект за рахунок зменшення витрат на збагачення та підвищення виходу концентрату. Стабілізація якості рудної маси дозволяє оптимізувати режими роботи збагачувальної фабрики та знизити енергетичні витрати.

Соціально-економічний ефект від впровадження нової технології включає покращення умов праці та підвищення її безпеки. Зниження трудомісткості основних виробничих процесів дозволяє підвищити заробітну плату персоналу на 15-20%. Впровадження сучасного обладнання з дистанційним керуванням зменшує кількість працівників у небезпечних зонах.

3.4. Висновки

Розроблена удосконалена технологія підповерхового обвалення для умов шахти "Ювілейна" забезпечує комплексне вирішення проблем підвищення ефективності видобутку руди. Збільшення висоти підповерху до 30 м та оптимізація геометричних параметрів блоку дозволяють знизити обсяг підготовчо-нарізних робіт на 15-20%. Впровадження сучасного

самохідного обладнання забезпечує підвищення продуктивності праці на основних виробничих процесах: буріння - на 44%, доставка руди - на 38%. Автоматизація процесів управління якістю рудної маси дозволяє знизити втрати та засмічення руди.

Запропоновані заходи з підвищення безпеки гірничих робіт базуються на комплексному підході до організації виробництва. Впровадження системи автоматизованого моніторингу стану масиву та вдосконалення вентиляції забезпечують безпечні умови праці. Модернізація систем протиаварійного захисту та навчання персоналу дозволяють мінімізувати ризики виникнення небезпечних ситуацій. Особлива увага приділяється питанням екологічної безпеки та зниження впливу гірничих робіт на навколишнє середовище.

Техніко-економічна оцінка запропонованих рішень показує їх високу ефективність та швидку окупність інвестицій. Річний економічний ефект від впровадження удосконаленої технології становить 223.015 млн грн, а термін окупності капітальних вкладень складає 0.81 року. Впровадження нової технології дозволяє оптимізувати структуру виробничих витрат та підвищити рентабельність виробництва. Соціально-економічний ефект включає покращення умов праці та підвищення заробітної плати персоналу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження було вирішено актуальну науково-технічну задачу підвищення ефективності видобутку залізної руди шляхом удосконалення технології підповерхового обвалення в умовах шахти "Ювілейна". Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

В результаті дослідження було виконано всебічний аналіз сучасного стану технології підповерхового обвалення на залізорудних шахтах, який показав необхідність її вдосконалення відповідно до зростаючих вимог

виробництва. Встановлено основні фактори, що впливають на ефективність видобутку руди в умовах великих глибин розробки. Визначено перспективні напрямки вдосконалення технології з урахуванням специфіки гірничо-геологічних умов шахти "Ювілейна".

Розроблено математичну модель процесу обвалення руди, що дозволяє прогнозувати розвиток деформацій масиву та оптимізувати параметри системи розробки. На основі моделювання визначено оптимальні розміри очисного простору та параметри буровибухових робіт, що забезпечують ефективне руйнування масиву при мінімальних витратах вибухових речовин.

Запропоновано удосконалену технологію підповерхового обвалення, яка включає нові технічні рішення з організації гірничих робіт та впровадження сучасного самохідного обладнання. Оптимізація параметрів системи розробки дозволяє знизити обсяг підготовчо-нарізних робіт на 15-20% та підвищити продуктивність праці на основних виробничих процесах на 38-44%.

Розроблено комплекс заходів з підвищення безпеки гірничих робіт, що включає впровадження систем автоматизованого моніторингу стану масиву, вдосконалення вентиляції та протиаварійного захисту. Запропоновані рішення дозволяють знизити ризики виникнення небезпечних ситуацій та покращити умови праці персоналу.

Техніко-економічна оцінка запропонованих рішень показала їх високу ефективність. Річний економічний ефект становить 223.015 млн грн при терміні окупності капітальних вкладень 0.81 року. Впровадження удосконаленої технології дозволяє знизити собівартість видобутку на 12-15% та підвищити рентабельність виробництва.

Результати досліджень впроваджені на шахті "Ювілейна" ПрАТ "Суша Балка" та можуть бути рекомендовані для використання на інших залізородних шахтах з аналогічними гірничо-геологічними умовами. Економічний ефект від впровадження розробок підтверджує їх практичну

цінність та доцільність подальшого розвитку запропонованих технологічних рішень.

Напрямки подальших досліджень пов'язані з розробкою автоматизованих систем управління технологічними процесами, вдосконаленням методів прогнозу та контролю геомеханічних процесів, оптимізацією параметрів системи розробки при збільшенні глибини ведення гірничих робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Приватне акціонерне товариство "Суша Балка". Інформація з ЄДР. URL: <https://clarity-project.info/edr/00191329>
2. Суша Балка. Структура підприємства. URL: <http://surl.li/ulhkgp>
3. Вікіпедія. Шахта «Ювілейна» (Кривбас). URL: <http://surl.li/tsatrr>
4. Державне відкрите акціонерне товариство шахта "Ювілейна". Інформація з ЄДР. URL: <https://clarity-project.info/edr/00178407>
5. Хоменко О.Є., Кононенко М.М., Савченко М.В. Технологія підземної розробки рудних родовищ: підручник. НТУ «ДП». Дніпро. 2018. 450 с. URL: <http://surl.li/yposlm>
6. Новак А.І., Калініченко О.В., Заєць В.В., Васильчук О.Ю., Семенюк В.В. Технологія підземної розробки корисних копалин: навч. посібн. НУВГП. Рівне. 2019. 315 с. URL: <http://surl.li/jkszcc>
7. Ступнік М.І., Федько М.Б., Письмений С.В., Колосов В.О., Курносів С.А., Маланчук З.Р. Проблеми розкриття та підготовки рудних родовищ на глибоких горизонтах шахт Кривбасу. Вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг. Вип. 47. 2018. С. 3-8. URL: <http://surl.li/bdihaq>
8. Сиротюк В.Г., Куліченко Ю.І., Янюк Т.С. та ін. Гірничі роботи: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти. Букрек. Чернівці. 2021. 136 с. URL: <http://surl.li/aqrppt>
9. Хоменчук О.В. Конспект лекцій з підземних гірничих робіт. ДУ «Житомирська політехніка». Житомир. 2020. 360 с. URL: <http://surl.li/arlblo>
10. Дорохов Д.В., Сивохін В.І., Подтикалов О.С. Технологія підземної розробки пластових родовищ корисних копалин: Підручник для ВНЗ. Частина II. ДонНТУ. Донецьк. 2-е вид. 2004. 266 с. URL: <https://science.donntu.edu.ua/ugp/kobetskaya/library/10.pdf>
11. Кушнерьов І.П., Кривенко Ю.Ю. Удосконалення технології відпрацювання рудних покладів камерними системами на глибоких

горизонтах. Вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг. Вип. 30. 2012. С. 23-26. URL: <http://surl.li/psemzc>

12. Хоменко О.Є., Косенко А.В., Дмитренко С.В. Інтенсифікація систем підповерхового обвалення руди з використанням самохідного обладнання. Физико-технические проблемы горного производства. Вип. 23. 2021. С. 136-148. URL: <http://surl.li/idfdkp>

13. Федько М.Б., Зенюк Д.Ф. Підвищення якості рудної маси при вдосконаленні системи розробки підповерхового обвалення руди на підконсольний компенсаційний простір. Качество минерального сырья. 2011. С. 258-260. URL: <http://surl.li/yutllb>

14. Тарасютін В.М., Косенко А.В. Обґрунтування ресурсозберігаючих технологічних процесів при підземному видобутку різносортних залізних руд Кривбасу. Вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг. Вип. 46. 2018. С. 152-158. URL: file:///C:/Users/comad/Downloads/Vktu_2018_46_32.pdf

15. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Хівренко О.Я., Калініченко О.В., Грищенко М.А., Теляпньов В.О. Розробка та дослідження технології відпрацювання запасів блоків із застосуванням комбінованого високоінтенсивного випуску руди. Вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг. Вип. 43. 2016. С. 3-6. URL: <http://surl.li/kcjlly>

16. Тарасютін В.М., Рябець В.В., Долгий А.С. Дослідження впливу умов глибоких горизонтів на підготовку та відпрацювання потужних залізородних покладів. Вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг. Вип. 30. 2012. С. 26-30. URL: <http://surl.li/cjnubf>

17. Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Савенко В.О., Хоруженко І.В. Особливості виготовлення фізичних моделей конструкцій (підпірних стін та фундаментів-оболонок) із застосуванням сучасних технологій. Гірничий вісник. Вип. 103. 2018. С. 66-70. URL: <http://surl.li/qbywjk>

18. Калініченко О.В. Удосконалення концепцій системного управління процесами підземних гірничих робіт з урахуванням впливу на

них напружено-деформованого стану гірського масиву. Гірничий вісник. Вип. 100. 2015. С. 27-30. URL: <http://surl.li/infnjz>

19. Смолянський П.С., Козіков А.В., Шамрай О.В. Математичне моделювання процесу пошуку локальних порожнин для бінарного середовища в тривимірному випадку. Математичне моделювання. №1. 2019. С. 7-13. URL: <http://surl.li/qvzlkj>

20. Іванчук Ю. Математичне моделювання робочих процесів в апаратурі керування гідроімпульсним приводом. Механ. Adv. технол. Вип. 5. №2. 2021. С. 193-202. URL: <http://surl.li/xftikx>

21. Іщенко К.С., Ус С.А., Вдовиченко М.М. Рішення оптимізаційних моделей вибору і обґрунтування параметрів буровибухових робіт для ефективного руйнування анізотропних гірських порід. Геотехническая механика. 2011. 11 с. URL: <http://surl.li/ccycym>

22. Кісель О.О., Кісель А.В. Аналіз впливу схем розташування вибухових свердловин на ефективність ведення буровибухових робіт при видобуванні було-щебеневої сировини. Вісник ЖДТУ. №1(56). 2011. С. 109-114. URL: <http://surl.li/gzdldx>

23. Калініченко В.О., Швагер Н.Ю., Чухарев С.М., Калініченко О.В., Грищенко Т.С., Грищенко М.А. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів із застосуванням самохідної доставочної техніки. Вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг. №40. 2015. С. 3-8. URL: <http://surl.li/lxnptn>

24. Косенко А.В., Хоменко О.Є., Кононенко М.М. Новітні технології підповерхового обвалення у видобуванні залізних руд: монографія. Журфонд. Дніпро. 2023. 112 с. URL: <file:///C:/Users/comad/Downloads/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%A5%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BD%D0%>

[B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20\(2023\)%20%D0%9D%D0%A2%D0%9F%D0%9E%D1%83%D0%92%D0%97%D0%A0.pdf](#)

25. Косенко А.В., Тарасютін В.М. Обґрунтування ефективності комплексного застосування самохідної гірничої техніки у процесі відпрацювання запасів природно-багатих залізних руд на великих глибинах. Гірничий вісник. Вип. 105. 2019. С. 74-80. URL: <http://surl.li/mivfsg>

26. Федько М.Б., Зенюк Д.Ф. Підвищення якості рудної маси при вдосконаленні системи розробки підповерхового обвалення руди на підконсольний компенсаційний простір. Качество минерального сырья. 2011. С. 258-260. URL: <http://surl.li/ugdqms>

27. Письменний С.В. Удосконалення технології розробки залізорудних родовищ системами підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід. Гірничий вісник. Кривий Ріг. Вип. 109. 2021. С. 61-67. URL: <http://surl.li/ljwpuc>

28. Калініченко О.В., Ковбик К.М. Удосконалення існуючих систем розробки підповерхового обвалення руди в умовах Криворізького залізорудного басейну. Науково-дослідний гірничорудний інститут ДВНЗ "Криворізький національний університет". Кривий Ріг. 2015. С. 223-229. URL: <http://surl.li/oqsnjp>

29. Лапшин О.Є., Гурін А.О., Лапшин О.О., Радіоненко Б.М. Удосконалення профілактичних заходів щодо попередження нещасних випадків і аварій на гірничих підприємствах. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. №3. 2015. С. 128-133. URL: <http://surl.li/takngt>

30. Павличенко А.В., Юрченко А.А., Скульська К.В. Шляхи підвищення рівня екологічної безпеки видобутку залізних руд на території м. Кривий Ріг. Perfect Publishing. Ванкувер. 2021. С. 305. URL: <http://surl.li/tbnoor>

31. Шустов О.О., Петльований М.В., Зубко С.А., Шерстюк Є.А. Геомеханічні проблеми стійкості природно-техногенних масивів рудних

родовищ. Розробка родовищ корисних копалин. 2019. С. 154-165. URL: <http://surl.li/keasje>

32. Вінівітін Д.В., Журкін Д.А., Загубинога В.В., Панченко В.В. Техніко-економічне обґрунтування бортового вмісту для перевантажувального складу некондиційної залізної руди. 2014. С. 123-128. URL: <http://surl.li/qtamse>