

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЙ СИСТЕМНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НА НИХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ**

Роботу присвячено вирішенню актуальної проблеми удосконалення концепцій системного управління процесами підземних гірничих робіт з урахуванням напружено-деформованого стану гірського масиву та впливу існуючих технологій підземного видобутку корисних копалин на збереження денної поверхні в полях діючих та відпрацьованих шахт.

Виконано аналіз впливу камерних систем розробки та систем розробки з обваленням руди та вміщуючих порід на характер порушень денної поверхні з формуванням воронок, провалів та зон обвалення. Наведено варіант математичного моделювання підземного видобутку магнетитових кварцитів з епіюрами та величиною деформацій на прикладі відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока РУ ім. Держинського.

На основі виконаних досліджень напружено-деформованого стану гірського масиву обґрунтовано теоретичну можливість руйнування міжкамерних ціликів, які залишили між відпрацьованими камерами. На прикладі відпрацьованні ділянки магнетитових кварцитів у полі ш. ім. Орджонікідзе ПАТ ЦГЗК наведено практичну можливість такого припущення, коли розрахункові параметри оголень та розмірів ціликів в умовах ш. ім. Орджонікідзе не забезпечили безпечну технологію підземного видобутку магнетитових кварцитів, що призвело до руйнування МКЦ та раптового просідання денної поверхні.

Обґрунтовано спосіб, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні на основі застосування систем розробки з твердіючою закладкою. Доведено, що дана технологія дозволяє зберігати непорушеною денну поверхню, використовуючи твердіючу закладку для заповнення відпрацьованого очисного простору. Зосереджено увагу на окремих технологічних схемах, які припускають утилізацію пустих порід і відходів збагачення у відпрацьованому просторі очисних блоків. Наведено переваги технології видобутку залізних руд з твердіючою закладкою виробленого простору.

У висновках наголошено, що жодна високорозвинена гірничовидобувна країна світу не відпрацьовує родовища корисних копалин в міській межі без наступної закладки виробленого простору. Тому подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку і вдосконалення існуючих технологій підземного видобутку залізних руд системами розробки із закладкою виробленого простору.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** У Криворізькому залізорудному басейні протягом десятків років складалася унікальна ситуація зі збереженням денної поверхні в межах діючих і закритих ліквідованих шахт. У результаті тривалої і інтенсивної експлуатації родовищ Кривбасу підземним способом утворилися значні площі підроблених гірничими роботами територій. Порушення денної поверхні з воронками, провалами і зонами обвалення були викликані застосуванням на підземних гірничих роботах, при відпрацьованні верхніх горизонтів, різних варіантів систем розробки з обваленням руди і вміщуючих порід, а також камерних систем розробки. У першому випадку, при м'яких нестійких рудах, спостерігалися досить плавні просідання денної поверхні з формуванням прогнозованих зон обвалення.

При використанні камерних систем розробки, формування зон обвалення відбувалося стрибкоподібно, залежно від обсягу камерної виїмки, міцності рудної стелини і вміщуючих порід. У цьому випадку прогнозування зон обвалення було і є більш складним завданням, оскільки в розрахунки вступають фізико-механічні властивості гірських порід, що мають більш високу міцність. У зв'язку з цим, при обваленні покрівлі камер можлива неповна посадка стелин, що, у свою чергу, може призвести до формування мінікамери, облік і контроль яких практично неможливий. Посадка таких мінікамери, розташованих поряд з денною поверхнею може призвести до незапланованих провалів денної поверхні через багато років після відпрацьовання покладів і повного закриття шахт.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідженням теорії і практики моніторингу та управління напружено-деформованим станом масиву при підземному видобутку залізних руд присвячена велика кількість робіт. Серед даних робіт виділяються класичні роботи, присвячені вивченню фізичних явищ, що відбуваються в масиві гірських порід, а також інструктивні, спрямовані на визначення допустимих розмірів штучних підземних споруд [1-5]. В.В.Царіковський та В.В.Сакович у своїх роботах за визначенням геометричних параметрів склепистих і шатрових оголень стелин відзначають, що надання їм зазначених форм дозволяє підвищити стійкість

за рахунок скорочення в них зони дії розтягуючих напружень [3, 6]. Стеліни зі склепистою і шатровою формами оголень можуть бути більш стійкими.

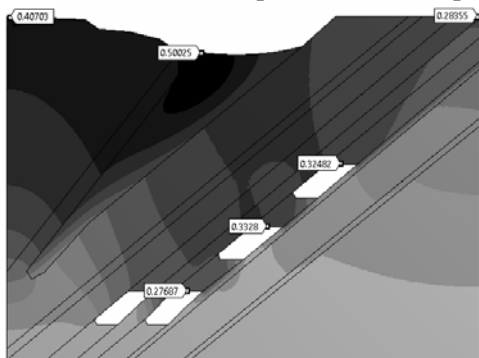
Серед робіт, присвячених дослідженням пружно-деформованого стану масиву найбільш повними є роботи проф. М.М. Протод'яконова [7], В.Д. Слесарьова [8], Г.Н. Кузнецова [9], С.В. Ветрова [10], В.Ф. Трумбачова, Е.А. Мельнікова [11] та ін. [12-14].

**Постановка завдання.** Підземна розробка магнетитових кварцитів на за технологією «камера-цілик» привела до формування в надрах величезної кількості пустот, що обчислюються мільйонами кубічних метрів. Ці порожнечі становлять потенційну небезпеку у разі їх обвалення.

Отже, розвиток наукових основ моніторингу та управління процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні штучних підземних споруд, дослідження і розробка технологічних рішень, що запобігають утворення провалів земної поверхні при підземному видобутку залізних руд, є актуальною науково-технічною проблемою, що має важливе народногосподарське значення.

**Викладення матеріалу та результати.** Площа підроблених гірничими роботами територій з оцінки державного проектного інституту «Кривбаспроект» становить 3 600 га, в тому числі площа воронки обвалення в межах мульди зрушення гірських порід в полях діючих та ліквідованих шахт становить порядку 1030 га [15]. Дані території мають тенденцію до розширення з причини продовження видобутку залізних руд підземним способом.

Так, наприклад, при відпрацюванні покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока колишнього РУ ім. Дзержинського, у надрах залишилися пустоти, існуючі до сьогоднішнього часу. Математичне моделювання відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Епюри та величина деформацій (м) відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока РУ ім. Дзержинського

Результати моделювання дають можливість стверджувати, що на денній поверхні величина деформацій досягає 0,50 м. З урахуванням реологічних властивостей гірських порід ця величина буде збільшуватися у часі.

Враховуючи те, що відпрацьовані пустоти знаходяться практично в центрі міста, такий рівень деформацій денної поверхні може призвести, з часом, до руйнування промислових, а можливо і цивільних об'єктів, які знаходяться в зонах можливого впливу залишених пустот.

Згідно розрахунків ДП НДГРІ, розміри міжкамерних ціликів та фізико-механічні властивості гірських порід (магнетитових кварцитів) на довгий час повинні забезпечити стійкий напружено-деформований стан відпрацьованої ділянки.

Однак, на наш погляд, існує імовірність руйнування міжкамерних ціликів, які залишили між відпрацьованими камерами. Досвід відпрацювання ділянки магнетитових кварцитів в полі ш. ім. Орджонікідзе ПАТ ЦГЗК доводить можливість такого припущення. Розрахункові параметри оголень та розмірів ціликів в умовах ш. ім. Орджонікідзе не забезпечили безпечну технологію підземного видобутку магнетитових кварцитів, що призвело до руйнування МКЦ та раптового просідання денної поверхні.

В умовах відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока та законсервованих пустот, обсяг яких досягає кількох мільйонів кубічних метрів, випадкове руйнування одного МКЦ може привести до ланцюгової реакції, наслідки якої можуть бути катастрофічними. Можливість та імовірність руйнування МКЦ досить висока, враховуючи видобуток багатих залізних руд з застосуванням БВР на кар'єрі, який знаходиться практично над відпрацьованою ділянкою родовища магнетитових кварцитів.

У той же час, хоча тектонічна активність в районі Криворізького залізрудного басейну практично відсутня, відголоски землетрусів час від часу порушують гірський масив та можуть спровокувати часткове руйнування запобіжник міжкамерних та міжповерхових ціликів з прогнозованими наслідками.

У даний час підземні гірничі роботи пішли на глибокі горизонти, при відпрацюванні яких вплив очисної виїмки на денну поверхню значно знижено. У цьому випадку практично немож-

ливі несподівані, стрибкоподібні провали на поверхні землі. У той же час, має місце плавне її просідання на значно більших площах в зв'язку зі збільшенням розмірів мульди зрушення налягаючих гірських порід при зниженні підземних гірничих робіт.

На наше глибоке переконання, єдиним способом, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні, є застосування систем розробки з твердіючою закладкою. Дана технологія дозволяє зберігати непорушеною денну поверхню, використовуючи твердіючу закладку для заповнення відпрацьованого очисного простору. Окремі технологічні схеми припускають утилізацію пустих порід і відходів збагачення у відпрацьованому просторі очисних блоків.

Технологія видобутку руд з твердіючою закладкою виробленого простору є одним з найбільш поширених і перспективних способів підземної розробки рудних. У минулому столітті дана технологія успішно використовувалася при відпрацюванні багатих залізних руд на вище-лежачих горизонтах шахт РУ ім. Ілліча і РУ ім. Комінтерну в Кривбасі. У даний час ця технологія з успіхом використовується для відпрацювання залізних руд в умовах ЗЗРК а також при відпрацюванні уранових родовищ СхідГЗК.

Найважливішою перевагою технології видобутку руд з твердіючою закладкою виробленого простору є те, що її застосування дозволяє:

- запобігати обвалення денної поверхні при попаданні в зони зсуву і обвалення промислових і цивільних об'єктів;

- запобігати розвитку високого гірського тиску, який приводить до можливості розвитку гірських ударів, породних викидів, масових обвалень порід;

- забезпечити високі показники вилучення руди з надр при складних гірничо-геологічних умовах і великій глибині залягання;

- ізолювати відходи гірничого виробництва в підземних виробках, знизивши шкідливий вплив побічних продуктів видобутку руд на навколишнє середовище

- знизити обводненість вміщуючих порід.

Отже, технологія видобутку руд з твердіючою закладкою виробленого простору може бути конкурентоспроможною в порівнянні з існуючими технологіями. Крім цього, слід зазначити, що підземна розробка руд з твердіючою закладкою є одними з найбільш ефективних засобів управління гірським тиском, знижуючи вплив гірських порід на конструктивні елементи виїмкових одиниць.

Така технологія дозволяє застосовувати високопродуктивні системи розробки з відкритим очисним простором на великих глибинах і використовувати потужну високопродуктивну самхідну техніку на очисних і прохідницьких роботах.

У той же час, використання систем розробки з твердіючою закладкою потребує вирішення декількох основних завдань.

По-перше, необхідні дослідження напружено-деформованого стану гірського масиву при проведенні очисних робіт та рекомендації щодо міцності майбутнього штучного закладного масиву.

По-друге, необхідні дослідження з вибору й обґрунтування складів твердіючих сумішей, які на заданий термін твердіння забезпечували б необхідне (нормативне) значення міцності.

Відомо, що нормативна міцність закладки визначається на підставі геомеханічного розрахунку параметрів штучних масивів із закладки перед початком відпрацювання запасів поверхів, виїмкових дільниць і окремих видобувних блоків.

Критерієм визначення міцності закладки, є забезпечення стійкості штучних закладних масивів на весь період ведення гірничих робіт у видобувних блоках.

Особливістю штучних масивів твердіючої закладки є те, що на кордонах очисного простору ці масиви оголюються. Таке положення вимагає додання закладці такої міцності, яка виключила б руйнування штучних ціликів під дією гірського тиску.

Забезпечення розрахункової міцності закладки залежить від цілого ряду властивостей вихідних матеріалів закладки і компонентів твердіючих складів, технологічних факторів приготування сумішей і умов їх тверднення в очисних камерах.

Для спрощення рішення задачі прогнозування міцності закладки та вибору раціональних складів твердіючих сумішей, що забезпечують нормативне значення міцності для конкретних умов, нами запропонована наступна методика.

Базою запропонованої методики є математична модель, що комплексно описує вплив всіх технічних і технологічних факторів на міцність закладки. Дана модель дозволяє без проведення тривалих натурних досліджень і промислових експериментів розраховувати прогнозну міцність закладки, а також підбирати склади твердіючих сумішей, що забезпечують нормативне значення міцності закладки після її затвердіння.

Використання при виробництві закладочних робіт недорогих інертних заповнювачів поряд з одночасним скороченням дорогих в'язучих компонентів дозволяє знизити собівартість підземного видобутку залізних руд.

Враховуючи екологічні переваги підземного видобутку, а також можливість утилізації поверхневих відвалів пустих порід, використовуваних в якості інертного заповнювача, запропоновані технології дозволяють не тільки раціонально використовувати сировинну базу Кривбасу, а й здійснювати високоефективний видобуток корисних копалин екологічно чистими ресурсозберігаючими технологіями.

**Висновки.** Практика і накопичений досвід роботи гірничодобувних підприємств показують, що сьогоденні витрати на реалізацію заходів щодо попередження можливих надзвичайних ситуацій, пов'язаних з порушеннями денної поверхні у вигляді воронки, провалів і зон обвалення значно нижчі, ніж витрати на їх ліквідацію в майбутньому.

На наше глибоке переконання, єдиним способом, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні, є застосування систем розробки з твердіючою закладкою. При більш високій собівартості видобутку дані системи розробки дозволяють отримати економію в майбутньому, забезпечивши збереження денної поверхні.

При цьому слід сказати, що жодна високорозвинена гірничодобувна країна світу не відпрацьовує родовища корисних копалин в міській межі без наступної закладки виробленого простору. Відмовившись від систем розробки із закладкою виробленого простору в минулому, Криворізький залізорудний басейн зіткнувся з серйозною проблемою сьогодні.

Отже, подальші дослідження повинні бути спрямовані не тільки на спостереження і прогнозування зрушень ділянок денної поверхні в зоні підземних гірничих робіт. Сучасні дослідження мають бути спрямовані на розробку і вдосконалення існуючих технологій підземного видобутку залізних руд з тенденцією на перехід до систем розробки із закладкою виробленого простору.

#### *Список літератури*

1. Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса / Минчермет УССР. – Кривой Рог: НИГРИ, 1987. – 75с.
2. Инструктивные указания по определению параметров этажно- камерных систем разработки по условиям проявления горного давления с увеличением глубины ведения работ на шахтах Кривбасса // Изд. НИГРИ. Кривой Рог. – 1965. - 68с.
3. Определение геометрических параметров камерных систем разработки в Кривбассе со сводообразной и шатровой формами обнажения потолочин. - Инструкция. **В.В. Цариковский, В.В. Сакович, П.И. Кишкин, А.Ф.Артеменко, А.Ф. Мигуль.** - Кривой Рог: НИГРИ. – 1994. – 17 с.
4. **Влох Н.П., Ушков С.М.** К вопросу определения предельного пролета выработанного пространства // Сб. науч. трудов НИГРИ. - Кривой Рог. - 1968. -Т.2. - С. 112-116.
5. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд/Інструкція по застосуванню. СОУ-Н МПП 73.020-142:2010.Київ.2010. 122 с.
6. Исследование и разработка геомеханического обоснования технологических схем отработки богатых руд с повышенной устойчивостью конструктивных элементов. **В.В. Цариковский, В.В. Сакович.** - Отчет НИГРИ. - № ГР018800522136. – Кривой Рог. – 1989. – 74 с.
7. **Протодьяконов М.М.** Давление горных пород и рудничное крепление. Ч.1. М.-Л. - Новосибирск. - Госгортехиздат, 1933. – 126с.
8. **Слесарев В.Д.** Механика горных пород и рудничное крепление. - М.: Углетехиздат, 1948. – 302с.
9. **Кузнецов Г.Н.** Определение полной несущей способности кровли подземных выработок // ТР. ВНИМИ. - 1950. №22. - С.231-259.
10. **Ветров С.В.** Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд – М.: Изд. «Наука», 1975. - 232 с.
11. **Трумбачев В.Ф, Мельников Е.А.** Распределение напряжений в целиках и потолочинах камер // Сб. «Исследование распределения напряжений вокруг горных выработок». – Углетехиздат, 1959. – 44с.
12. **Калініченко О.В.** Інформаційні технології - складова процесів моніторингу та керування напружено-деформованим станом масиву / **Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О. В., Музика І.О., Федько М.Б., Письменний С.В.** / Розробка родовищ 2015: щорічний науково-технічний збірник / редкол.: **В.І. Бондаренко** та ін.– Д: Літограф, - 2015. - С. 175–183.
13. **Калініченко О.В.** Визначення економічних ризиків від порушень денної поверхні в результаті підземного видобутку руд / **Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В.** / Вісник КНУ: Кривий Ріг, 2012. – Вип. 32. – С. 246-250.
14. **Калініченко О.В.** Економічна оцінка ризиків можливих геомеханічних порушень денної поверхні в полях шахт Кривбасу / **Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В.** / Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2012. – № 6. – С. 126-130.
15. Сучасні технології розробки рудних родовищ: Збірник наукових праць за результатами роботи II Міжнародної науково-технічної конференції. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2012. – 140 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.15