

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.272

*Калініченко О.В.*

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НА НИХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

*Робота присвячена вирішенню актуальної проблеми вдосконалення концепцій системного управління процесами підземних гірничих робіт. Виконано аналіз впливу застосованих систем розробки на характер порушень денної поверхні. Наведено варіант математичного моделювання підземного видобутку з епюрами та величиною деформацій. Обґрунтовано спосіб, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні на основі застосування систем розробки з твердіючою закладкою. Зосереджено увагу на окремих технологічних схемах, які припускають утилізацію пустих порід і відходів збагачення у відпрацьованому просторі очисних блоків.*

**Ключові слова:** гірський масив, підземна розробка, напружено-деформований стан, твердіюча закладка, утилізація пустих порід.

**Постановка проблеми.** У Криворізькому залізничному 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, під час відпрацювання верхніх горизонтів, різних варіантів систем розробки з обваленням руди і вмішуючих 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.

Під час використання камерних систем розробки формування зон обвалення відбувалося стрибкоподібно, в залежності від обсягу камерної виїмки, міцності рудної стелини і вмішуючих 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 із цим, під час обвалення 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 із денною поверхнею, може призвести до незапланованих провалів денної поверхні через багато років після відпрацювання покладів і повного закриття шахт.

**Аналіз останніх 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. Царіковській і В.В. Саковіч 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]. Стелини 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. Трумбачьова, Е.А. Мельнікова [11] та інших дослідників [12–14].

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

Таким чином, розвиток наукових основ моніторингу та управління процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву під час формування 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.

**Виклад 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, під час відпрацювання покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Гли-

бока колишнього РУ ім. Держинського в надрах залишилися пустоти, існуючі до сьогоднішнього часу. Математичне моделювання відпрацьованої дільниці покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока представлено на рис. 1.

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 в часі.

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

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

Однак, на наш погляд, існує імовірність руйнування міжкамерних ціликів, які залишили між відпрацьованими камерами. Досвід відпрацювання ділянки магнетитових кварцитів у 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 під-

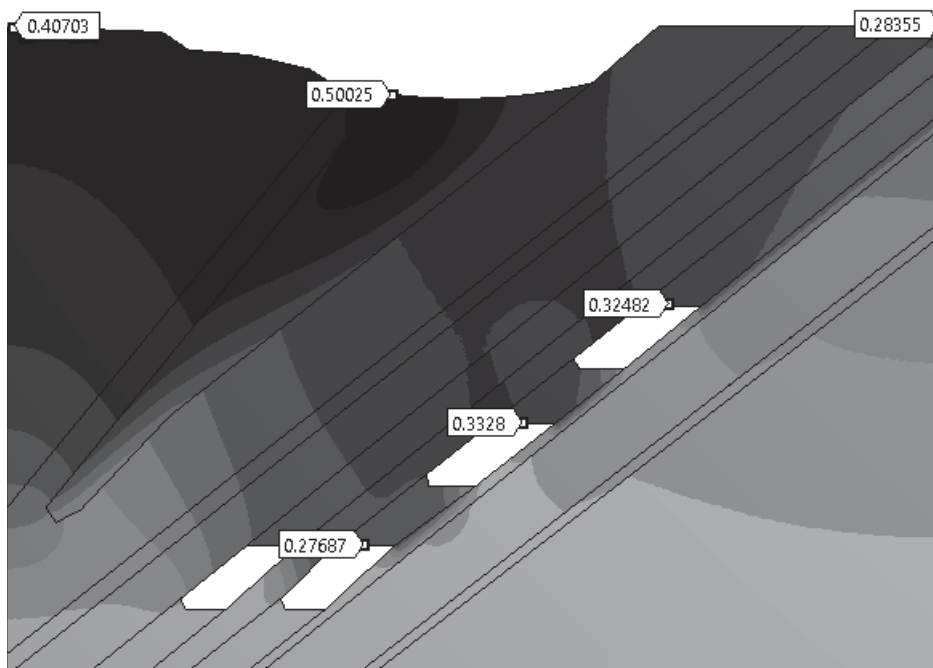


Рис. 1. Епюри та величина деформацій (м) відпрацьованої дільниці покладів магнетитових кварцитів на ш.Гігант-Глибока РУ ім. Держинського

земного видобутку магнетитових кварцитів, що призвело до руйнування МКЦ та раптового просідання денної поверхні.

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

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

У даний час підземні гірничі роботи пішли на глибокі горизонти, під час відпрацювання яких вплив очисної виїмки на денну поверхню значно знижено. У цьому випадку практично неможливі 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 під час зниження 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 із твердіючою закладкою виробленого простору є одним з найбільш поширених і перспективних способів підземної розробки рудних. У минулому столітті дана технологія успішно використовувалася під час відпрацювання багатих залізних руд на вищележачих горизонтах шахт РУ ім. Іллча і РУ ім. Комінтерну в Кривбасі. У даний час ця технологія з успіхом використовується для відпрацювання залізних руд в умовах ЗЗРК, а також під час відпрацювання уранових родовищ СхідГЗК.

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

1) запобігати обвалення денної поверхні під час попадання в зони зсуву і обвалення промислових і цивільних об'єктів;

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

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

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

5) знизити обводненість вміщуючих порід.

Таким чином, технологія видобутку руд із твердіючою закладкою виробленого простору може бути конкурентоспроможною в порівнянні з існуючими технологіями. Крім цього, слід зазначити, що підземна розробка руд із твердіючою закладкою є одним із 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 самохідну 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 під час проведення 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.

З метою 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 пропонованої 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 прогнозу міцність закладки, а також підбирати склади твердіючих сумішей, що забезпечують нормативне значення міцності закладки після її затвердіння.

Використання під час виробництва 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 вико-

ристовувати сировинну базу Кривбасу, а й здійснювати високоефективний видобуток корисних копалин екологічно чистими ресурсозберігаючими технологіями.

**Висновки.** Практика і накопичений досвід роботи гірничодобувних підприємств показують, що сьогоднішні витрати на реалізацію заходів щодо попередження можливих надзвичайних ситуацій, пов'язаних із порушеннями денної поверхні у вигляді воронок, 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 у 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.

Таким чином, 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 із 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. 75 с.
2. Инструктивные указания по определению параметров этажно-камерных систем разработки по условиям проявления горного давления с увеличением глубины ведения работ на шахтах Кривбасса. Кривой Рог: НИГРИ, 1965. 68 с.
3. Цариковский В.В. и др. Определение геометрических параметров камерных систем разработки в Кривбассе со сводообразной и шатровой формами обнажения потолочин: инструкция. Кривой Рог: НИГРИ, 1994. 17 с.
4. Влох Н.П., Ушков С.М. К вопросу определения предельного пролета выработанного пространства. Сборник научных трудов НИГРИ. Кривой Рог, 1968. Т.2. С. 112.
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. Цариковский В.В. Исследование и разработка геомеханического обоснования технологических схем отработки богатых руд с повышенной устойчивостью конструктивных элементов: 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. 126 с.

8. Слесарев В.Д. Механика горных пород и рудничное крепление. Москва: Углетехиздат, 1948. 302 с.
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. Москва: 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. 44 с.
12. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О. В., Музика І.О., Федько М.Б., Письменний С.В. Інформаційні технології – складова процесів моніторингу та керування напружено-деформованим станом масиву: Розробка родовищ 2015: щорічний науково-технічний збірник / за ред. В.І. Бондаренко та ін. Дніпропетровськ: Літограф, 2015. С. 175–183.
13. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В. Визначення економічних ризиків від порушень денної поверхні в результаті підземного видобутку руд: зб. наук. праць. Кривий Ріг: Вісник Криворізького національного університету, 2012. Вип. 32. С. 246.
14. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В. Економічна оцінка ризиків можливих геомеханічних порушень денної поверхні в полях шахт Кривбасу. Дніпропетровськ. Науковий вісник Національного гірничого університету. 2012. № 6. С. 126.
15. Сучасні технології розробки рудних родовищ: Збірник наукових праць за результатами роботи II Міжнародної науково-технічної конференції. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2012. 140 с.

#### **УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НА НИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА**

*Работа посвящена решению актуальной проблемы совершенствования концепций системного управления процессами подземных горных работ. Выполнен анализ влияния используемых систем разработки на характер нарушений дневной поверхности. Приведен вариант математического моделирования подземной добычи с эпюрами и величиной деформаций. Обоснован способ, гарантирующий невозможность провалов и просадок дневной поверхности на основе применения систем разработки с твердеющей закладкой. Сосредоточено внимание на отдельных технологических схемах, которые предполагают утилизацию пустых пород и отходов обогащения в отработанном пространстве очистных блоков.*

**Ключевые слова:** горный массив, подземная разработка, напряженно-деформированное состояние, твердеющая закладки, утилизация пустых пород.

#### **CONTROL OF UNDERGROUND MINING PROCESSES CONSIDERING IMPACTS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF ROCKS**

*The paper deals with the actual problem of enhancing the concepts of the system of controlling underground mining processes. The paper analyzes the impacts mining systems produce on the character of daylight surface disturbances, presents a version of simulating underground mining operations with strain and strain value diagrams, substantiates the method ensuring impossibility of caving and the daylight surface subsidence on the basis of applying mining systems with consolidating backfill, focuses on flowsheets involving utilization of mining and concentration wastes in dead stopes.*

**Key words:** rock massif, underground mining, stress-strain state, consolidating backfill, utilization of mining wastes.