

РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.28

© Хоменко О.Є., Кононенко М.М., 2010

О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко

МОДЕЛЮВАННЯ НА ЕКВІВАЛЕНТНИХ МАТЕРІАЛАХ ДЕФОРМАЦІЇ МАСИВУ НАВКОЛО ПЕРВИННИХ ОЧИСНИХ КАМЕР

O.Ye. Khomenko, M.M. Kononenko

MODELING OF DEFORMATION OF AREA AROUND PRIMARY MINING CAMERAS BY MEANS OF EQUIVALENT MATERIALS

Викладена методика фізичного моделювання гранично допустимих напружень навколо очисних камер за допомогою еквівалентних матеріалів. Наведено характер деформації моделі навколо первинних очисних камер з урахуванням примикання бурових ортів. Встановлено основні області деформації та утворення тріщин масиву навколо камер. Наведено результати руйнування масиву моделі при дослідженні глибини закладення очисних камер. Встановлено, що збільшення глибини закладення камер призводить до зростання деформації масиву моделі у висячому і лежачому боках, а також у похилого днища у бік висячого боку від камер. Виявлено емпіричні залежності величини деформації від глибини закладення очисних камер.

Ключові слова: *фізичне моделювання, еквівалентний матеріал, модель камери, величина деформації, глибина закладання*

Постановка проблеми. Жорсткі ринкові відносини знизили темпи розкриття і підготовки Південно-Білозерського родовища, де видобування руди здійснюється нижче глибини 640 м. Це призвело до розробки та впровадження Державним підприємством „Науково-дослідний гірничорудний інститут“ (ДП „НДГРІ“, м. Кривий Ріг) на ЗАТ „Запорізький залізорудний комбінат“ (ЗАТ „ЗЗРК“) нового варіанта поверхово-камерної системи розробки з закладкою, що твердіє. Її особливістю є наявність у первинних камер похилого днища, що примикає до порід висячого боку покладу. Використання нового варіанта системи розробки призвело до зниження техніки для доставки руди й обсягів проходки нарізних виробок. Із збільшенням глибини гірничих робіт почастишали випадки прояву гірського тиску в прилеглому масиві гірських порід і нарізних виробок поблизу камер.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Для визначення областей руйнівних деформацій масиву навколо первинних очисних камер і подальшої оцінки напруженості в зонах розвантаження виконано фізичне моделювання на еквівалентних матеріалах [1]. Спираючись на результати порівняльного аналізу методів фізичного моделювання, нами визначений найбільш доцільний метод лабораторних досліджень, яким є моделювання на еквівалентних матеріалах, розроблений професором Г.М. Кузнецовим [2].

Постановка завдання. Метою фізичного моделювання на еквівалентних матеріалах є відтворення на моделі процесу, подібного тому, що відбувається в натурних умовах. Методика фізичного моделювання деформацій масиву навколо очисних камер містить наступні етапи: підбір еквівалентного матеріалу, приготування еквівалентного матеріалу, формування і навантаження моделі, проведення експериментів.

Основна частина. Підбір еквівалентного матеріалу проводили шляхом визначення його межі міцності на стиск, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. Визначення фізико-механічних властивостей матеріалу виконували по зразках, які мали циліндрову форму з перерізом 211 мм² і висотою 74 мм за допомогою малогабаритного преса. Прес дозволяє реєструвати відповідні деформації і навантаження на зразках.

Підбір складу еквівалентного матеріалу є одним з основних питань моделювання. Широкий спектр фізико-механічних властивостей гірських порід вельми важко відтворити в лабораторних умовах. Тому моделювання проводилося на еквівалентному матеріалі №6, властивості якого максимально наближаються до гематито-маргітових руд Південно-Білозерського родовища. До складу еквівалентного матеріалу №6 входять: кварцевий пісок – 50%, мелений граніт – 15%, чавунна стружка – 10%, подрібнена слюда – 5% і парафін – 20%. Результати випробувань прийнятого до моделювання матеріалу наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні фізико-механічні властивості еквівалентного матеріалу №6

Характеристика матеріалу	Натура	Модель
Межа міцності на стиск, МПа	60–100	0,6–0,7
Модуль Юнга, МПа	$3,22 \cdot 10^5$	$0,421 \cdot 10^5$
Об'ємна вага, МПа	0,39	0,16–0,2
Коефіцієнт Пуассона	0,33	0,33

Модель навантажували на стенді для плоского моделювання гірського тиску, який складається з камери розміром 500×500 мм, прикритої стінкою з оргскла товщиною 30 мм, кріпильних гвинтів і системи домкратів важелів. До верхньої кришки кріпили два ребра жорсткості, що оберігають розтріскування оргскла (рис. 1). Формування моделі здійснювали в робочій камері стенду шарами товщиною до 10 мм розігрітого еквівалентного матеріалу.



Рис. 1. Загальний вигляд стенду фізичного моделювання

Внутрішню поверхню робочої камери перед формуванням моделі протирали графітовим порошком для зменшення сил тертя еквівалентного матеріалу об поверхню камери. З метою створення монолітної моделі робили закачування і спущування поверхні кожного шару, що укладається. Ущільнення кожного шару здійснювали за допомогою статичного навантаження масою 200 Н.

Після повного формування моделі, до неї протягом двох годин прикладали навантаження інтенсивністю 650 Н. Після зняття первісного навантаження відгвинчували скляну стінку стенда. На поверхню моделі наносили прямокутну мірну сітку розміром 20×20 мм. У центрі моделі утворювали порожнину, яка моделює очисну камеру висячого боку. Після утворення очисної камери, в еквівалентному матеріалі встановлюються передня стінка стенда і ребра жорсткості та, за допомогою домкратів, масив навантажується. Навантаження задається у відповідності до розташування геометричного центру очисної камери, з інтервалом в 700 Н. Деформації, що розвивались у масиві, контролювали по мірній сітці та реєстрували фотоапаратом. Положення встановлення фотоапарата фіксовано на весь час експерименту.

Відповідно до методики дослідження, порядок проведення експериментів складався з двох етапів.

Перший етап містив серії з вивчення характеру деформації моделі навколо первинної очисної камери з урахуванням розташування бурових ортів. Другий етап складався з визначення характеру деформації масиву при збільшенні глибини закладення первинної очисної камери.

Мінімально-необхідну кількість випробувань кожного варіанта визначали за формулою:

$$n = t_{\alpha}^2 \left(\frac{\eta}{\sigma} \right)^2$$

де t_{α} – коефіцієнт Стьюдента; η – коефіцієнт варіації, %; σ – допустиме відхилення, %.

Якщо допустиме відхилення становить 10%, тоді $t_{\alpha} = 1,64$. Достатня кількість випробувань для кожного варіанта буде 2,69. Таким чином, з огляду на високу однорідність еквівалентного матеріалу, випробування кожного розглянутого варіанта повинно проводитися не менше трьох разів. Фактично, з урахуванням налагодження процесу моделювання і кількості продубльованих варіантів, було випробувано 24 моделі.

Відповідно до мети першого етапу, здійснювали моделювання деформацій, що утворюються навколо первинної очисної камери, та їх вплив на бурові виробки. Модель камери відповідала геометричній подобі первинної очисної камери, яка відпрацьовується в поверсі 640–740 м. Відповідно до глибини закладення первинної очисної камери, навантаження, яке додається до моделі, було еквівалентно тиску на глибині закладення геометричного центру камери. Моделі первинної очисної камери до початку і після проведення експерименту наведені на рис. 2.

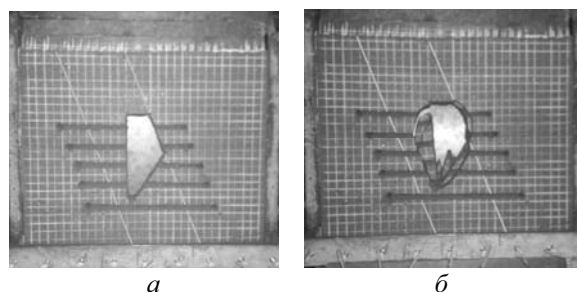


Рис. 2. Моделі очисної камери до початку (а) і після (б) проведення експерименту

Стискаючи модель у вертикальній площині, без можливості розширення в горизонтальній, отримуємо руйнування масиву навколо моделі первинної очисної камери. Основні області деформації й утворення тріщин масиву матеріалу навколо камери, розташовані у бік висячого боку, у бік лежачого боку і в похилому днищі моделі камери – у бік висячого боку. Деформації, що виникають у масиві навколо очисної камери, пояснюються тим, що в областях у бік висячого боку, у бік лежачого боку і у бік висячого боку в похилому днищі діють розтягальні напруження, які виникають в результаті перетворення потенційної енергії в роботу розширення і напруження розтягу.

Область деформації, розташована у висячому боці між горизонтами 640 і 665 м, досягає 14 мм.

Вона бере початок в точці перерізу похилого днища з висячим боком камери та йде в покрівлю моделі камери. Характер деформації – еліптичний. Область деформації, розташована в лежачому боці між горизонтами 640, 665, 690 і 715 м, досягає максимальної величини 22 мм. Вона бере початок у нижній точці та йде в покрівлю моделі камери. Характер деформації – еліптичний. Область деформації, розташована у висячому боці у похилого днища між горизонтами 690 і 715 м, досягає 18 мм. Вона бере початок у нижній точці камери та йде в точку перерізу похилого днища з висячим бо-

ком моделі камери. Характер деформації – еліптичний. Згідно з другим етапом моделювання, виконували збільшення глибини закладення первинної очисної камери, моделюючи відпрацювання рудного покладу в поверхах 640–940 м. На початку моделювали закладення камери на глибині 740 м, потім для наступних моделей збільшували глибину на 100 м. Відповідно зі збільшенням глибини закладення камери збільшували навантаження, що додається до моделі, яке для кожної моделі було еквівалентне тиску на глибині закладення геометричного центру очисної камери.

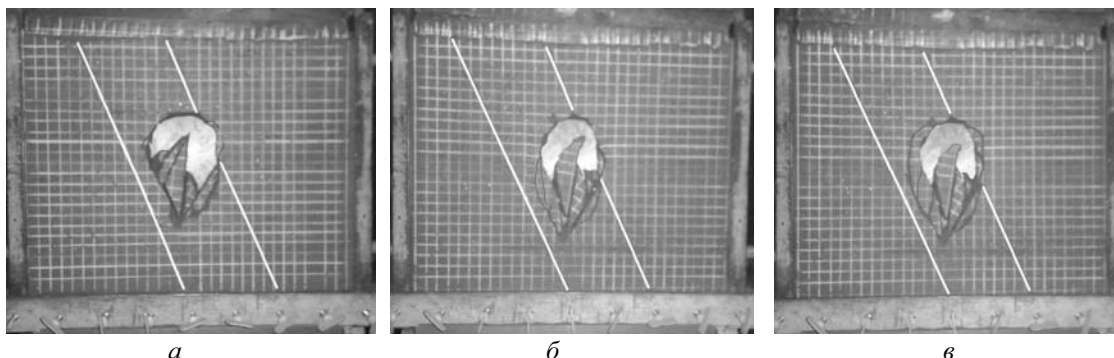


Рис. 3. Характер деформації U_k масиву, що оточує первинні очисні камери, при моделюванні різної глибини H_k : а – 740 м; б – 840 м; в – 940 м

Збільшення глибини закладення очисної камери для кожної серії моделей тягло за собою зростання деформації масиву навколо моделі у висячому і лежачому боках, а також, у похилому днищі в бік висячого боку. На рис. 3 (а–в) наочно видно інтенсивне відшарування та утворення тріщин у масиві, що оточує камеру. Переміщення масиву еквівалентного матеріалу у вертикальній площині в бік очисної камери викликано його стисненням по горизонталі. З поетапним збільшенням глибини закладення камери відбувається збільшення зони розвантаження і, відповідно, величини деформації. Вимірювання деформації здійснювали за величиною руйнування, відшарування й утворення тріщин в масиві зони розвантаження, що оточує первинну очисну камеру.

Область деформації розташована у висячому боці. При збільшенні глибини закладення камери, її розміри збільшуються з 14 до 20 мм. Форма цієї області деформації еліпсоподібна, яка збільшується в масштабі. Область деформації розташована в лежачому боці. При збільшенні глибини закладення камери, її розміри збільшуються з 20 до 22 мм. Форма цієї області деформації еліпсоподібна, яка збільшується в масштабі. Область деформації розташована у висячому боці у похилого днища камери. При збільшенні глибини закладення камери, її розміри збільшуються з 18 до 20 мм. Форма цієї області деформації еліпсоподібна, яка збільшується в масштабі. Характер збільшення величини деформації в масиві, що оточує модель первинної очисної камери, зі збільшенням глибини її місця закладення, можна спостерігати по зміні максимальних деформацій (рис. 4).

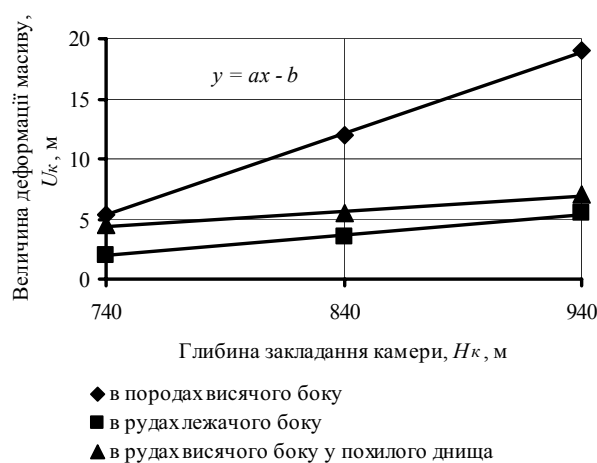


Рис. 4. Зміна величини деформації U_k , залежно від глибини закладення камер H_k

Провівши апроксимацію максимальних значень за допомогою програми Microsoft Excel 2000, ми отримали емпіричні рівняння залежностей величини деформації U_k від глибини закладення очисної камери H_k .

Для масиву, що оточує первинну очисну камеру, емпіричні залежності мають вигляд:

– величина деформацій у бік лежачого боку

$$U_k \approx 0,03H_k - 4,0533 \text{ , мм, при } R = 96\%$$

де R – вірогідність апроксимації, %; H_k – глибина закладення камер, м;

– величина деформацій у бік висячого боку у похилого днища камери

$$U_k | 0,02H_k 2 2,867, \text{ мм, при } R = 92,3 \%$$

– величина деформацій у бік висячого боку

$$U_k | 0,03H_k 4 8,533, \text{ мм, при } R = 96,4 \%$$

Висновки. За результатами першого етапу моделювання, величина деформації в масиві висячого та лежачого боків і у похилого днища в бік висячого боку неоднакова. У масиві висячого боку процес деформування розвивається у вигляді відшарування невеликих розмірів шарів масиву й утворення тріщин, в масиві лежачого боку – у вигляді відколювання окремих шарів масиву, що сповзають у простір очисної камери, а в масиві біля похилого днища у бік висячого боку – у вигляді утворення тріщин.

За результатами другого етапу моделювання, величина деформації масиву навколо первинної очисної камери залежить від моделювання глибини місця її закладення. Збільшення глибини моделювання камери на 100 м призводить до деформації масиву моделі: у бік висячого боку на 3 мм, у бік лежачого боку на 3 мм і у похилого днища в бік висячого боку на 1–2 мм. Результати моделювання деформації U_k у прилеглому масиві камер зі збільшенням глибин закладення H_k можуть бути описані лінійними залежностями.

Список літератури

1. Кононенко М.М. Обґрунтування раціональних параметрів кріплення нарізних виробок у зонах впливу очисних камер на великих глибинах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 – Дніпропетровськ, 2009. – 19 с.
2. Изучение проявлений горного давления на моделях / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, А.А. Филипова и др. – М.: Углетехиздат, 1959. – 239 с.

Изложена методика физического моделирования предельно допустимых напряжений вокруг очистных

камер с помощью эквивалентных материалов. Представлен характер деформации модели вокруг первичных очистных камер с учетом примыкания буровых ортов. Установлены основные области деформации и трещинообразования массива вокруг камер. Приведены результаты разрушения массива модели при исследовании глубины заложения очистных камер. Установлено, что увеличение глубины заложения камер приводит к возрастанию деформации массива модели в висячем и лежачем боках, а также у наклонного днища в сторону висячего бока от камер. Выявлены эмпирические зависимости величины деформации от глубины заложения очистных камер.

Ключевые слова: *физическое моделирование, эквивалентный материал, модель камеры, величина деформации, глубина заложения*

Technique of physical modeling of maximum permissible stresses around the extraction cameras by means of equivalent materials has been described. Character of deformation of model round fundamental mining cameras taking into account an adjunction of drilling orts is presented. The basic areas of deformation and cracking of the massif around cameras have been established. Results of the massif model destruction was set when researching of mining cameras depth location. It has been established, that the increase in cameras depth location leads to increase of the massif model deformation in hanging and lying sides, and also at the inclined bottom towards hanging wall from cameras. Empirical dependences between the size of deformation and the mining cameras depth location have been revealed.

Keywords: *physical modeling, equivalent material, chamber model, deformation size, depth of location*

Рекомендовано до публікації д.т.н. І.А. Ковалевською 23.03.10

УДК 622.831.001

© Фомичов В.В., Зубер Р.В., Сівак Г.П., 2010

В.В. Фомичов, Р.В. Зубер, Г.П. Сівак

ОСОБЛИВОСТІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ АНКЕРА І ПОРІД ГІРСЬКОГО МАСИВУ

V.V. Fomichov, R.V. Zuber, G.P. Spivak

FEATURES OF COMPUTING DESIGN OF INTERACTION OF ANCHOR AND ROCK OF MOUNTAIN MASSIF

Широке застосування анкерів при підтримці виробок вимагає пошуку оптимальних показників анкерного кріплення в різних умовах експлуатації. При постановці обчислювального експерименту необхідно моделювати анкер і умови його сполучення. Для оцінки впливу параметрів моделі анкера на результат були виконані тестові розрахунки. Результати розрахунків дозволили отримати низку закономірностей впливу різних параметрів моделі анкера на загальну картину розподілу напружень.

Ключові слова: *анкер, напружено-деформований стан, розрахункова схема, поза межний стан, повні переміщення*

На даний момент на більшості підприємств гірничодобувної галузі України широкого використання під час проведення гірничих виробок набуло рамно-

анкерне кріплення. Зокрема, для підтримки пластових виробок на шахтах ВАТ „Павлоградвугілля“ застосовують рамне кріпленням КШПУ з профілем СВП та