

горитм для моделирования геомеханических процессов, протекающих в породном массиве в окрестности горной выработки.

Список литературы

1. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Универ. изд-во “Пульсары”, 2002. – 304 с.  
2. Шашенко А.Н., Янко В.И., Солодянкин А.В. Учет эффекта разупрочнения породного массива в задачах геомеханики // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2003. – № 7. – С. 29-33.  
3. Трусделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. – М.: Мир, 1975. – 592 с.  
4. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Галеев С.Н. Определение напряженно-деформированного состояния

породного массива с учетом эффекта разупрочнения в зоне разрыхления // Разработка рудных месторождений: Науч.-техн. сб. – КрТУ, 2005. – Вып. 58. – С. 44-49.

5. Hinton E, Owen D.R.J. Finite element programming. – London: Academic Press. – 1977. – 305 p.

6. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В. Упруго-пластическое состояние породного массива, деформирующегося в окрестности подземной выработки // Геотехническая механика. – 2005. – № 61. – С. 230-241.

7. Шашенко А.Н. Упругопластическая задача для структурно-неоднородного массива, ослабленного круглой выработкой // Прикл. механика. – 1989. – Т. 25, № 6. – С. 48-54.

Рекомендовано до публікації д.т.н. А.М. Роском 26.10.07

УДК 622.261.2

О.О. Сдвижкова, Р.М. Терещук, С.П. Лозовський

### ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКСНОГО СПОСОБУ ОХОРОНИ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК У ЗОНІ ВПЛИВУ ОЧИСНИХ РОБІТ В УМОВАХ ЗДИМАННЯ ПОРІД ПІДОШВИ

На основі чисельного моделювання методом скінченних елементів напружено-деформованого стану породного масиву навколо сполучення підготовчої та очисної виробки обґрунтовані раціональні параметри комплексу заходів щодо запобігання здиманню порід підшоши підготовчих виробок.

На основе численного моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности сопряжения подготовительной и очистной выработок обоснованы рациональные параметры комплекса мероприятий по предотвращению пучения пород почвы.

Stress-strained state of rocks around development working and coal-face area is investigation with Finite element method. Rational parameters of measures complex have been ground to prevent great displacements in the floor.

**Актуальність та стан проблеми.** Аналіз стану підготовчих виробок вугільних шахт України, а також витрат, пов'язаних з їх підтримкою та ремонтом, показує, що при підтримці підготовчих виробок в експлуатаційному стані значне місце належить боротьбі зі здиманням порід підшоши. На вугільних шахтах України щорічно ремонтується понад 5 тис. км виробок, зокрема з підриванням порід підшоши, що здимаються, до 3,7 тис. км.

Проблема підтримки підготовчих виробок в стійкому стані під час всього періоду їх експлуатації не тільки залишається актуальною, але й набуває зростаючого характеру та вимагає створення, промислового освоєння і впровадження ефективних способів охорони та підтримки підготовчих виробок. Особливої актуальності ці питання набувають в гірничо-геологічних умовах, для яких характерне здимання порід підшоши. Прикладом таких умов є шахта “Комсомолець Донбасу”, де в підшоші пластів  $l_7$ ,  $l_4$  та  $l_3$  залягають глинисті сланці, схильні до здимання. Аналіз показує, що основний обсяг ремонтних робіт

пов'язаний саме із здиманням порід, яке найбільшою мірою проявляється в підготовчих виробках у зоні впливу очисних робіт.

Спостереження в натурних умовах показали, що в області сполучення підготовчих виробок з лавою процес здимання має значну інтенсивність та незатухаючий характер, що відрізняє його від аналогічного прояву гірського тиску в капітальних виробках. Спостерігаються різкі підвищення інтенсивності деформацій підшоши підготовчих виробок з певною періодичністю, яка призводить до руйнування кріплення. Пошук ефективних шляхів боротьби зі здиманням в зоні впливу очисних робіт є важливим науково-практичним завданням.

На основі вивчення проявів гірського тиску в натурних умовах запропоновано новий спосіб охорони підготовчих виробок, що поєднує комплекс заходів, а саме: при проведенні виробки формують розкіску, а рочне кріплення підсилюють встановленням двох анкерів, а перед відпрацюванням лави формують додатливу огорожу з боку масиву і з боку лави шахтом



підривання камуфлетних зарядів поза зоною опорного гірського тиску. Після відпрацювання лави розкіску заповнюють породами підшви виробки, що здійнялися, далі відпрацьовують чергову лаву.

Метою роботи є встановлення закономірностей зміни напружено-деформованого стану (НДС) масиву при здійсненні запропонованих заходів і обґрунтування раціональних параметрів способу охорони й підтримки підготовчих виробок в зоні впливу лави.

Аналіз закономірностей зміни НДС масиву при здійсненні комплексу заходів для охорони виробки. Методом скінченних елементів моделювалась виробка в масиві з лінійними розмірами: ширина – 5 м, висота – 3,5 м, потужність пласта – 1,1 м, розташована на глибині 600 м, що відповідає гірському тиску 17,9 МПа. Були розглянуті сім розрахункових схем, що відображають послідовність заходів для охорони виробок та відповідають різним гірничотехнічним ситуаціям.

Ситуація 1 – підготовча виробка в незайманому масиві, закріплена арочним податливим кріпленням.

Ситуація 2 – підготовча виробка, що сполучається з лавою.

Ситуація 3 – підготовча виробка, що сполучається з лавою, закріплена арочним податливим кріпленням з посиленням по центру (стандартний спосіб охорони, який використовують на шахті “Комсомолец Донбасу”). У розрахунковій схемі посилення моделювалося, як зосереджена сила  $P$ , що прикладена до вузлів елементів в центральній частині покрівлі та підшви.

Ситуація 4 – підготовча виробка, що сполучається з лавою. У боках підготовчої виробки виконується заздалегідь камуфлетне висадження. Внаслідок камуфлетного висадження відбувається розпушування частини вугільного пласта. У розрахунковій схемі зона розпушування моделювалась як область, в якій модуль пружності  $E_{кам}$  зменшений відносно модуля пружності  $E_{пр}$  вугільного пласта.

Ситуація 5 – аналогічна ситуації 4, але додатково в боці підготовчої виробки з боку масиву сформована розкідка шириною 2-2,5 м. Розкідка моделювалась як додаткова порожнина відповідних розмірів.

Ситуація 6 – аналогічна ситуації 5, але додатково з боку лави під кутом  $30^\circ$  на висоті 2,0 м від підшви виробки встановлений сталеполімерний анкер довжиною 2,5 м, що жорстко пов'язаний з аркою. Анкер моделювався шляхом закріплення переміщень у відповідних кінцевих елементах.

Ситуація 7 – аналогічна ситуації 6, але додатково з боку щілики під кутом  $45^\circ$  на висоті 2,5 м від підшви виробки встановлений сталеполімерний анкер довжиною 2,5 м.

Дослідження НДС масиву виконувалося на основі нелінійної деформаційної моделі середовища з використанням процедури “змінних параметрів пружності”, що дозволяє ітераційним шляхом відобразити зв'язок між напруженням і деформаціями згідно з реальною діаграмою стиснення зразка гірської породи.

Зміни НДС масиву в розглянутих ситуаціях оцінювалися по величині так званих еквівалентних напружень, які визначаються згідно з критерієм міцності Парчевського-Шашенка [1]:

$$\sigma_e = \frac{(1-\psi)(\sigma_1 + \sigma_3) + \sqrt{((1-\psi)^2(\sigma_1 + \sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1 - \sigma_3)^2)}}{2\psi}$$

де  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  – відповідно найбільше та найменше головні напруження;  $\psi$  – коефіцієнт крихкості,  $\psi = R_p/R_c$ ,  $R_p$  – межа міцності порід на одностороннє розтягування,  $R_c$  – межа міцності на одностороннє стиснення.

Результати досліджень. Наявність стисної виробки призводить до значного збільшення концентрації напружень навколо підготовчої виробки (в підшві на 90%, в покрівлі на 61%). Але завдяки камуфлетному висадженню величина  $\sigma_e/R_c$  в характерних місцях в підшві підготовчої виробки знижується на 37% (рис. 1). Напруження в покрівлі підготовчої виробки практично рівні (сит. 2, 3, 5, 6, 7), тільки при камуфлетному висадженні дещо збільшуються (сит. 4). За наявності розкідки максимальні напруження в підшві підготовчої виробки зміщуються у бік масиву. Максимальне підняття порід підшви підготовчої виробки знаходиться: для виробки в незайманому масиві – по центру, за наявності лави – трохи (на 0,15-0,2 м) зміщується у бік невідпрацьованої частини вугільного пласта, за наявності лави і розкідки – зміщується у бік невідпрацьованої частини вугільного пласта на 0,5-0,6 м. Виконання всіх запропонованих заходів для охорони та підтримки підготовчої виробки призводить до зменшення величин зміщення покрівлі на 30% та підшви на 33% (рис. 1). Наявність анкера над розкідкою зменшує величину конвергенції в розкідці більш ніж у два рази.

При моделюванні наслідків камуфлетного підривання взято до уваги, що висадження 380 г вугілля Э-6 забезпечує необхідний ступінь розпушування вугілля [2] та призводить до зменшення модуля пружності вугільного пласта в 40 разів. Вказану вище вибухову речовину рекомендовано використати в кількості 2 патрона на один шпур (маса патрона 200 г).

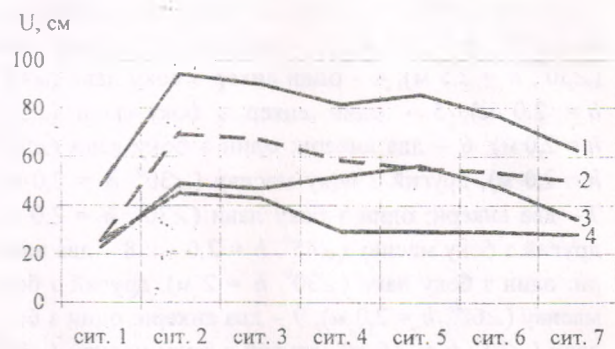


Рис. 1. Зміни величин зміщення контуру підготовчої виробки залежно від даної ситуації: 1 – вертикальна конвергенція; 2 – горизонтальна конвергенція; 3 – зміщення покрівлі; 4 – зміщення підшви



Виконання камуфлетного підривання в боках підготовчої виробки призводить до зменшення величини горизонтальної конвергенції на 13%, до зменшення величини вертикальної конвергенції на 11%, до зменшення величини підняття підшви підготовчої виробки на 31% (рис. 2), але до збільшення зміщень в покрівлі. Як видно з рис. 2. найменша величина вертикальної конвергенції буде при розташуванні шпурів на відстані 2,0 м один від одного. Тому, надалі, була рекомендована ця величина, як найбільш раціональна.

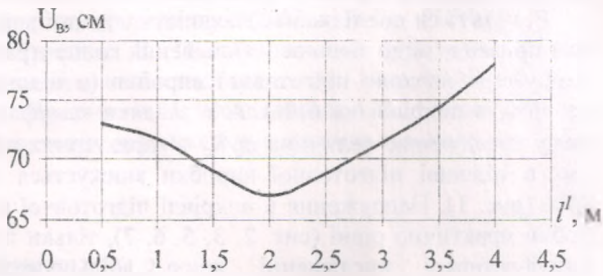


Рис. 2. Зміна величини вертикальної конвергенції в підготовчій виробці залежно від відстані між шпурами камуфлетних зарядів

Для визначення раціональної величини розкідки було досліджено 10 чисельних моделей, де ширина розкідки  $l_p$  змінювалась в межах 0,5...5,0 м для умов ситуації 7. Критерій оцінки – вплив розмірів розкідки на величину вертикальної конвергенції в підготовчій виробці (рис. 3).

Встановлено, що найбільш раціональний розмір розкідки складає 2-2,5 м, оскільки при збільшенні розмірів розкідки більше ніж 2,5 м величина вертикальної конвергенції в підготовчій виробці змінюється незначно, і цей розмір достатній для розміщення в ній розпушеної маси порід, що утворюється під час підривання.

Для визначення висоти (h) встановлення анкерів та кута ( $\angle$ ) нахилу анкера до горизонту досліджено 11 варіантів їх розташування, а саме: 1 – один анкер з боку лави ( $\angle 60^\circ$ , h = 2,5 м); 2 – один анкер з боку лави ( $\angle 45^\circ$ , h = 2,5 м); 3 – один анкер з боку лави ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,5 м); 4 – один анкер з боку лави ( $\angle 45^\circ$ , h = 2,0 м); 5 – один анкер з боку лави ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,0 м); 6 – два анкери: один з боку лави ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,0 м), другий з боку масиву ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,0 м); 7 – два анкери: один з боку лави ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,0 м), другий з боку масиву ( $\angle 45^\circ$ , h = 2,0 м); 8 – два анкери: один з боку лави ( $\angle 30^\circ$ , h = 2 м), другий з боку масиву ( $\angle 60^\circ$ , h = 2,0 м); 9 – два анкери: один з боку лави ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,0 м), другий з боку масиву ( $\angle 60^\circ$ , h = 2,5 м); 10 – два анкери: один з боку лави ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,0 м), другий з боку масиву ( $\angle 45^\circ$ , h = 2,5 м); 11 – два анкери: один з боку лави ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,0 м), другий з боку масиву ( $\angle 30^\circ$ , h = 2,5 м).

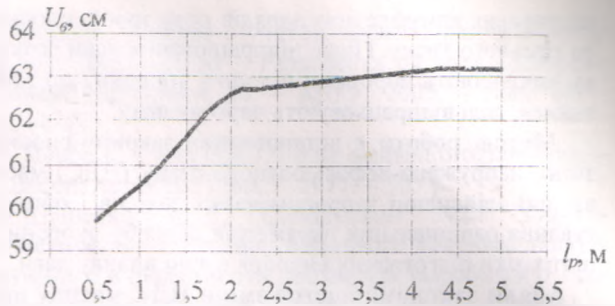


Рис. 3. Зміна величини вертикальної конвергенції в підготовчій виробці залежно від ширини розкідки

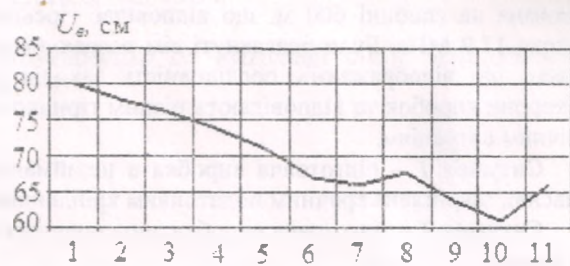


Рис. 4. Зміна величини вертикальної конвергенції в підготовчій виробці залежно від кількості, місця й кута встановлення анкерів

Встановлення двох сталеполімерних анкерів, жорстко пов'язаних з аркою з боку лави під кутом  $30^\circ$  на висоті 2,0 м і з боку щілика під кутом  $45^\circ$  на висоті 2,5 м від підшви виробки (ситуація 7, варіант 10), за всіх інших рівних умов, призводить до найменшої вертикальної конвергенції в підготовчій виробці (рис. 4). Таке розташування анкерів є найбільш раціональним.

Результати натурних вимірювань [3], фізичного (на еквівалентних матеріалах) [4, 5] і математичного моделюванні дозволили побудувати узагальнений графік зміни вертикальної конвергенції в підготовчій виробці (рис. 5), що дає можливість оцінити ефективність вживаних технічних рішень.

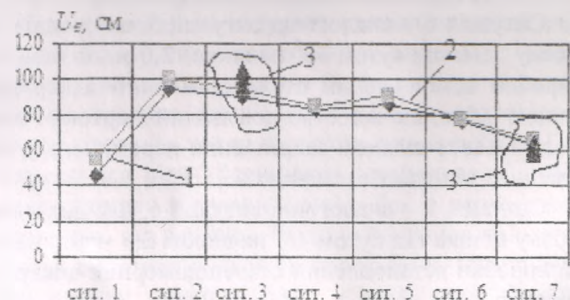


Рис. 5. Зміна величини вертикальної конвергенції в підготовчій виробці залежно від даної ситуації: 1 – результати математичного моделювання; 2 – результати фізичного моделювання (на еквівалентних матеріалах); 3 – результати шахтних спостережень



Результати, одержані при натурних вимірюваннях, фізичному та математичному моделюванні, практично співпадають (розбіжності складають 14-15%) (рис. 5).

Це підтверджує правильність вибору моделей та дозволить, надалі, обґрунтовувати параметри запропонованого способу охорони й підтримки підготовчих виробок для різних гірничо-геологічних умов.

#### Висновки

Виконання запропонованих в даній роботі заходів для підтримки підготовчої виробки призводить до зниження напружень в підшві виробки на 37%, зменшення горизонтальної та вертикальної конвергенції на 26% (17,3 см) і 30,5% (27,3 см), відповідно, зменшенню конвергенції в розквісі на 62%.

Стійкість підготовчих виробок в даних гірничо-геологічних умовах забезпечується шляхом застосування комбінованого геомеханічного способу управління гірським тиском і оцінюється величиною вертикальної конвергенції, що нелінійно залежить від параметрів способу: кількості й кута встановлення анкерів, довжини розквіси, відстані між шпурами камуфлетних зарядів.

Для умов шахти "Комсомолец Донбасу" ситуація 7, описана в даній роботі, є якнайкращою комбінацією технічних рішень, що забезпечують реалізацію запропонованого способу, при якому зменшується величина горизонтальної і вертикальної конвергенції у виробках на 30%. Рекомендовані параметри способу:

розквіса внутрішнього 2-2,5 м, з боку лави під кутом  $30^\circ$  на висоті 2,0 м і з боку щілика під кутом  $45^\circ$  на висоті 2,5 м від підлоги виробки сталеполімерні анкери довжиною 2,5 м, що жорстко пов'язані з аркою, камуфлетне висадження: глибина штурів 2,2-2,5 м, маса заряду 400 г, відстань між шпурами 2,0 м.

#### Список літератури

1. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижугла Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – Київ: Университетське вид-во "Пульсари", 2002. – 302 с.
2. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. Взрывные технологии в промышленности. – М.: Изд-во МГГУ, 1994. – 239 с.
3. Лозовський С.П. Шахтні дослідження нового способу охорони та підтримання підготовчих виробок // Вісник ЖІТІ. – 2004. – № 2 (28). – С. 240-244.
4. Лозовський С.П. Изучение характера поведения горного массива вокруг подготовительных выработок в зоне влияния лавы на моделях // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2004. – № 1. – С. 42-44.
5. Лозовський С.П., Терещук Р.Н. Разработка рациональных способов охраны и поддержания подготовительных выработок в зоне влияния лавы // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №2. – С. 44-46.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком  
23.10.07