

НЕГРІЙ С.Г., САХНО І.Г., МОКРІЄНКО В.М. (ДОННТУ)

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕДАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ НА КРІПЛЕННЯ ВИРОБКИ ВІД ФРОНТУ РУЙНУВАННЯ ПОРІД

Приведены результаты лабораторных исследований на структурных моделях по исследованию влияния физико-механических характеристик разрушенного породного массива на механизм взаимодействия фронта разрушения пород с контуром выработки.

Ефективна робота шахт багато в чому залежить від стійкості гірничих виробок, тому що незадовільний стан останніх істотно стримує темпи ведення очисних і підготовчих робіт. Так до 30% обсягу гірничих виробок, що підтримуються, на шахтах України мають потребу в проведенні ремонтних робіт через низьку надійність цих виробок, що обумовлена, як недостатньою ефективністю застосування засобів кріплення, так і якістю їхньої установки.

Про високу культуру кріплення гірничих виробок не приходиться і говорити. Це дійсно одна з основних проблем. Але, навіть при її задовільному рівні і застосуванні засобів кріплення, здавалося б, з оптимальними для розглянутих умов параметрами, практично не можливо досягти бажаних результатів.

Але причиною цього, на нашу думку, є не те, що застосовуються кріплення з недостатньо несучою здатністю, малою піддатливістю або кроком установки, а те, що практично не використовується несуча здатність порід, що уміщають виробку, і, що стійкість виробок розглядається окремо на різних етапах її існування.

Характер зсувів порід контуру однієї і тієї ж виробки на різних етапах її існування різний. У результаті проведення виробки і перерозподілу напружень у масиві, що оточує виробку, відбувається руйнування порід навколо неї – формується зона зруйнованих порід (ЗЗП). За рахунок руйнування породи розширюються в об'ємі і переміщуються у бік виробки, унаслідок чого спостерігаються деформації кріплення, видавлювання ґрунту. Цей процес носить загасаючий характер і до моменту, коли вже сформується ЗЗП, зсувів контуру виробки може вже і не спостерігатися. Дане явище порозумівається тим, що на якомусь етапі сили, що виштовхують (які виникають на фронті руйнування порід і від ваги порід, що вміщають ЗЗП), зрівноважуються силами, які протидіють цьому процесові (опір кріплення виробки, опір порід, що вміщають зону, і сили тертя, що виникають в них), тобто поки не установиться рівноважний стан системи “кріплення - зона зруйнованих порід - навколишній породний масив”. Порушення рівноважного стану цієї системи (вплив очисних робіт, проведення ремонту виробки) приводить до подальшого росту ЗЗП і активізації зсувів порід по контуру виробки.

Таким чином, передача навантажень від фронту руйнування порід до кріплення виробки відбувається через область зруйнованих порід, і чим більше ця область, тим менше ступінь впливу на кріплення. Дійсно, передача тиску масиву на виробку, величина і характер деформацій останньої будуть визначатися фізико-механічними властивостями дискретного (сипучого) середовища і розмірами зони дискретизованих порід навколо неї [1, 2], і вивчення особливостей механізму участі зони зруйнованих порід у передачі навантаження на контур виробки є актуальною задачею, рішення якої дозволить обґрунтувати ефективні способи і засоби забезпечення стійкості виробок за рахунок підвищення вантажонесучої здатності зруйнованих порід [3].

Для підтвердження цього твердження нами на початковому етапі були встановлені основні характеристики зруйнованого породного масиву, що впливають на процес, який

досліджується, а потім проведені лабораторні дослідження на структурних моделях щодо встановлення ступеня передачі навантажень від фронту руйнування до виробки в залежності від цих характеристик.

Відомі такі основні фізико-механічні характеристики зруйнованого породного масиву: гранулометричний склад, щільність порід, їхня вологість і гігроскопічність, кути природного укосу і внутрішнього тертя порід, твердість часток, компресійні, когезійні й адгезійні показники, здатність до вібраційного ущільнення, деформаційні зсувні характеристики, коефіцієнт розподільної здатності [4].

На наш погляд, із приведеного переліку найбільш впливовими на процес передачі навантажень є: гранулометричний склад, щільність і кут внутрішнього тертя порід. Так встановлено, що зі збільшенням крупності фрагментів, істотно зменшується ступінь передачі навантаження від фронту руйнування до контуру виробки [3], зменшення ж об'ємної маси порід у межах ЗЗП, і тим самим збільшення їх в об'ємі, приводить до значних зсувів контуру виробки [5, 6], величина ж кута внутрішнього тертя порід одна з основних характеристик сипучого середовища [4], тому її урахування також необхідне. Що стосується інших показників, то одні з них є менш значимими і практично що не впливають на стан зруйнованих порід, а інші – істотно залежать від розміру фракцій і кута внутрішнього тертя.

У роботі [3] представлені результати дослідження механізму взаємодії фронту руйнування порід з контуром виробки, але в них враховувався тільки гранулометричний склад порід і розмір зони зруйнованих порід. Тому, нами передбачається провести лабораторні дослідження щодо встановлення впливу фізико-механічних характеристик зруйнованого породного масиву на механізм взаємодії фронту руйнування порід з контуром.

Механізм передачі навантаження через область зруйнованих порід досліджувався у лабораторних умовах на структурних моделях з масштабом моделювання 1:30. Для цього використовували плоский стенд розмірами 0,6×0,5×0,07м, що являв собою зварену металеву конструкцію (1) зі швелера 70 (рис.1). До каркасу конструкції кріпилася задня (2) і передня прозора (3) стінки. Усередині конструкції уздовж основи по її ширині розміщалися датчики тертя (4), вище яких розташовувався досліджуваний сипучий матеріал (5) (порода, желатин), потім встановлювалася пневмокамера (6) з манометром (7).

Перед іспитами структурних моделей здійснювалося тарування датчиків з використанням пневмокамери (у зібраній моделі без породної подушки), і які склалися з двох скляних пластинок (12×70×2мм) і між якими розташовується тонка металева смуга. При стиску пластин відбувається обтиснення металевої смуги. Зусилля її протягання знаходиться в пропорційній залежності від величини стискаючого навантаження [3]. Просмикування металевої смуги у датчику тертя переводилося за допомогою пружинного динамометра. При фіксованому тиску усередині камери визначали зусилля просмикування кожного датчика. Для кожної ступіні зовнішнього навантаження датчиків визначався поправочний коефіцієнт [3]

$$k_m = \frac{P}{\sum_{i=1}^n P_i},$$

де P – величина питомого навантаження на датчик, кПа; P_i – показання динамометра i -го датчика, кг; n – кількість датчиків.

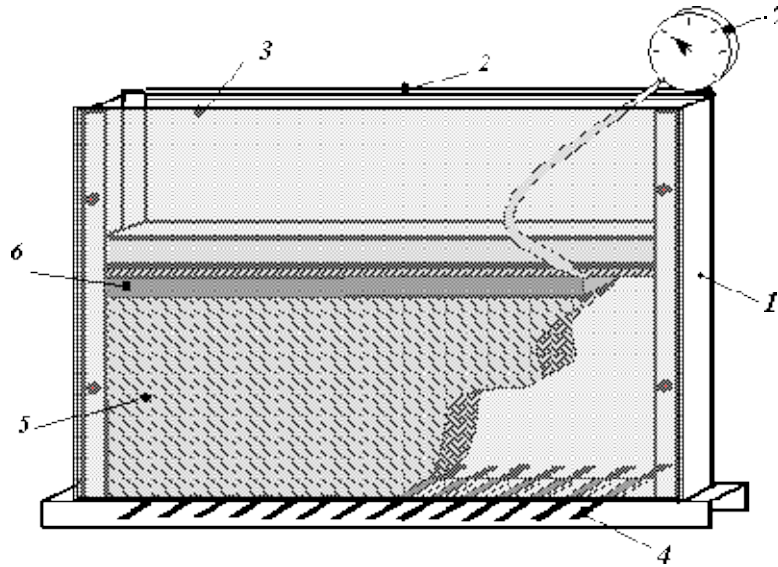


Рис. 1 - Схема структурної моделі щодо дослідження механізму взаємодії фронту руйнування порід з контуром виробки

У процесі відпрацювання серії моделей з урахуванням критеріїв подоби [3] змінювалися такі параметри:

1. Величина навантаження на зовнішньому контурі ЗРП
 $q=19,6; 39,2; 58,9; 78,5; 83,4; 88,3; 98,1; 107,9$ кПа;
2. Гранулометричний склад порід, що вміщують виробку, відносно її розміру
 $d_{\phi}/r_{\epsilon}= 0,10; 0,19; 0,56;$
3. Кут внутрішнього тертя сипучого середовища, що вміщує виробку
 $\varphi = 29, 31$ и $33^{\circ};$
4. Висота породної подушки відносно розміру виробки
 $r_n/r_{\epsilon}= 3,3; 4,6; 5,2; 5,3; 6,1; 7,3; 7,5; 8,5,$

де d_{ϕ} – розмір фракції, м; r_{ϵ} – радіус виробки у відповідності з масштабом моделювання, м; r_n – висота породної подушки, м.

Також у процесі відпрацювання моделей здійснювався вимір маси порід що вміщують ЗЗП, і висоти породної подушки з подальшим визначенням об'єму простору, який був заповнений породою під дією навантаження, і їх об'ємної маси.

При зміні всіх цих параметрів фіксувались показання датчиків тертя, по яких через тарувальний коефіцієнт k_m визначалася величина тиску під породною подушкою

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} k_m, \text{ кПа.}$$

Ступінь взаємодії між фронтом руйнування і контуром виробки оцінювалася коефіцієнтом передачі навантаження k_n

$$k_n = \frac{q}{P}.$$

У результаті відпрацювання моделей при різних параметрах сипучого матеріалу нами був отриманий масив даних, що дозволив кількісно оцінити спільний вплив фізико-механічних властивостей сипучого середовища на зміну коефіцієнта

передачі навантаження у ньому, а, отже, і на механізм взаємодії фронту руйнування порід з контуром виробки.

Для визначення кількісної залежності між показниками властивостей був використаний метод множинної кореляції. Розрахунок здійснений за допомогою засобів програмного пакета SPSSv13.0.

На початковому етапі здійснювався пошук всіх існуючих видів залежностей, які застосовуються при статистичній обробці результатів. Результатами пошуку стали стандартні види залежностей (лінійної, експонентної, ступеневої, логарифмічної, квадратичної, параболічної, гіперболічної, показової), використовуючи які, за допомогою засобів програмного пакета SPSSv13.0 визначалися коефіцієнти рівняння множинної регресії, на основі яких складалися рівняння регресії (табл. 1).

Таблиця 1– Результати встановлення рівнянь регресії і визначення коефіцієнта кореляції

№ п\п	Загальний вид рівняння регресії	Значення коефіцієнта кореляції рівняння регресії
	<u>лінійна</u>	
1	$k_n = -9,977 - 3,89 \frac{d\phi}{r_e} + 21,336 f - 0,638 \gamma - 0,014 \frac{r_n}{r_e}$	0,78
	<u>експонентна</u>	
2	$k_n = e^{-3,233 + \left(\frac{d\phi}{r_e}\right)^{-0,661} + f^{1,883} + \gamma^{0,45} + \left(\frac{r_n}{r_e}\right)^{-0,121}}$	0,76
	<u>ступенева</u>	
3	$k_n = e^{7,029} \left(\frac{d\phi}{r_e}\right)^{-1,876} f^{19,183} \gamma^{-0,388} \left(\frac{r_n}{r_e}\right)^{-0,11}$	0,77
	<u>логарифмічна</u>	
4	$k_n = 9,174 - 1,944 \ln\left(\frac{d\phi}{r_e}\right) + 21,56 \ln f - 0,57 \ln \gamma - 0,082 \ln\left(\frac{r_n}{r_e}\right)$	0,77
	<u>квадратична</u>	
5	$k_n = -2,568 - 4,042 \left(\frac{d\phi}{r_e}\right)^2 + 11,988 f^2 - 0,225 \gamma^2 - 0,001 \left(\frac{r_n}{r_e}\right)^2$	0,78
	<u>параболічна</u>	
6	$k_n = 2,843 + 12,56 \left(\frac{d\phi}{r_e}\right)^2 - 6,542 \left(\frac{d\phi}{r_e}\right) - 28,2 f^2 + 6,964 f - 2,503 \gamma^2 + 7,291 \gamma + 0,1 \left(\frac{r_n}{r_e}\right)^2 - 0,124 \left(\frac{r_n}{r_e}\right)$	0,80
	<u>гіперболічна</u>	
7	$k_n = -30,396 - \frac{0,662 r_e}{d\phi} + \frac{20,917}{f} - \frac{0,135}{\gamma} - \frac{0,401 r_e}{r_n}$	0,77
8	<u>показова</u> не існує	-

Як впливає з таблиці, коефіцієнти кореляції рівнянь регресії усіх порівнюваних видів залежностей практично однакові (не існує лише показової залежності). Тому, щоб уникнути громіздких формул була прийнята найбільш проста – лінійна залежність коефіцієнта передачі навантаження від основних фізико-механічних характеристик зруйнованого породного масиву, яка буде мати вигляд

$$k_n = -9,977 - 3,89 \frac{d_\phi}{r_e} + 21,336f - 0,638\gamma - 0,014 \frac{r_z}{r_e},$$

де d_ϕ – гранулометричний склад порід, що вміщують ЗЗП, м; r_e – радіус виробки, м; f – коефіцієнт внутрішнього тертя порід; γ – об'ємна вага порід, т/м³; r_z – розмір зони зруйнованих порід, м.

З залежності випливає, що при збільшенні гранулометричного складу порід, їхньої об'ємної ваги і розміру зони зруйнованих порід коефіцієнт передачі навантажень зменшується, а при збільшенні коефіцієнта внутрішнього тертя – він збільшується.

Таким чином, у результаті проведених досліджень встановлена кількісна залежність коефіцієнта передачі навантаження від основних фізико-механічних характеристик зруйнованого породного масиву, що дозволить уточнити параметри існуючих засобів підтримання гірничих виробок, а також може бути використана при розробці нових з урахуванням несучої здатності порід, які вміщують зону зруйнованих порід.

Бібліографічний список

1. **Негрій С.Г.** Обґрунтування параметрів механічного опору породам підшви виїмкових виробок при відпрацьовуванні лав зворотним ходом: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.15.02. / ДонНТУ.– Донецьк. – 2007.– 22с.
2. **Касьян М.М.** Геомеханічні основи управління зоною зруйнованих порід навколо виробок для забезпечення їх стійкості на великих глибинах: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.15.02 / ДонНТУ.– Донецьк. – 2002.– 21с.
3. **Сучасні проблеми проведення та підтримання гірничих виробок глибоких шахт/** Під заг. ред. С.В. Янко.– Донецьк: ДУНВГО, 2003.– 256с.
4. **Каталымов А.В., Любартович В.А.** Дозирование сыпучих и вязких материалов.– Л.– Химия, 1990.– 240с.
5. **Черняк И.Л., Юсов А.Б.** Управление массивом пород вокруг подготовительной выработки с помощью активного распора // Уголь.- 1982.- №9.- С. 21-23.
6. **Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Негрей С.Г., Кублицкий Е.В.** Влияние плотности разрушенного породного массива на устойчивость выработки // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины.– Днепропетровск.– 2001г.– №12.– Т.2.– С.91-95.