

## ДО ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ СТАНУ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК ГЛИБОКИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

О.М. Шашенко, О.В. Халимендик, Г.Ю. Король, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Україна

Наведено результати аналізу критерію оцінки стану протяжних гірничих виробок. Для оцінки загальної стійкості виробки обґрунтована необхідність врахування параметрів, що відображають стан елементів кріплення і порід підшви. Запропоновано нові критерії оцінки стану траси виробок.

Проведення шахтного моніторингу протяжних гірничих виробок вимагає обґрунтування відповідних критеріїв оцінки їх стану, ефективність яких, в першу чергу, визначається ступенем достовірності, простотою та можливістю отримання повної динамічної картини за будь-який період експлуатації гірничотехнічного об'єкту.

Дані про ремонтні роботи, маркшейдерські вимірювання та результати візуальних обстежень дозволяють оцінювати стан виробок за відомим ймовірнісним показником стійкості  $\omega_k$ , який характеризує в інтегральному сенсі стан виробки в цілому і має вигляд:

$$\omega_k = f(u).$$

Сам показник стійкості  $\omega_k$  визначається як відношення сумарної довжини ділянок виробок, що не потребують ремонту  $S'_k$ , до її повної довжини  $S$ :

$$\omega_k = \frac{S'_k}{S}, \quad (1)$$

Показник  $\omega_k$  змінюється в діапазоні від 0 до 1. Виробка не потребує виконання ремонтних робіт при  $\omega_k = 1$ , або потребує капітального ремонту повністю при  $\omega_k = 0$ .

Однією з переваг ймовірнісного показника стійкості є його функціональний зв'язок зі зміщеннями контуру виробки  $u$ , які саме і мають найбільший вплив на загальну стійкість виробки (рис. 1).

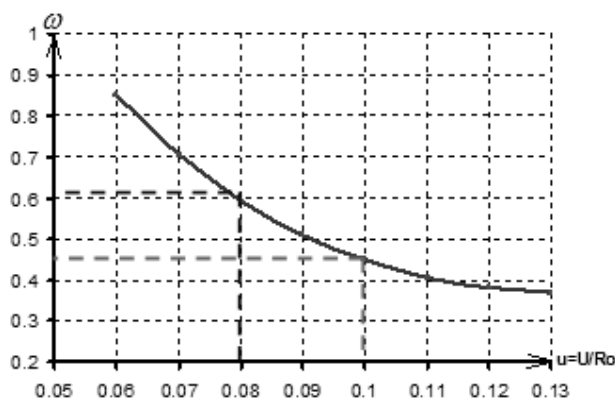


Рис. 1. Залежність зміни показника стійкості виробки  $\omega$  від зміщення контуру

Слід зазначити, що показник  $\omega_k$  був запропонований у свій час в роботі [1] для визначення загального стану протяжних виробок шляхом оцінки несучої здатності металевих арок кріплення. При цьому вважалось, що ремонт арок, які не відповідають правилам експлуатації, виконувався один раз. Така ситуація добре вписувалась у ймовірнісну модель протяжної виробки, що описувалась методами теорії випадкових функцій.

Але зі збільшенням глибини розробки вугільних пластів у протяжних виробках одним з характерних проявів гірського тиску є здимання порід підшви, що призводить до суттєвих матеріальних витрат і виконується неодноразово. З урахуванням цього оцінка стану таких виробок за показником  $\omega_k$  не є коректною і потребує іншого підходу, що викладений нижче.

Оскільки перемінна величина  $S'_k$  встановлюється візуальним обстеженням стану кріплення по всій виробці, вона зазвичай не враховує втрату перерізу виробки за рахунок вертикаль-

ної та горизонтальної конвергенції, що при інтенсивному, часто несиметричному здиманні порід підосви відіграє ключову роль у зниженні технологічних якостей виробки. Так, наприклад, у виробках, де переміщення вантажу відбувається по підосві виробки (такий спосіб відкатки використовується на більшості шахт) здимання порід лише на 20-30 см вимагає проведення ремонтно-поновлювальних робіт, в той час коли кріплення виробки залишається у відносно стійкому стані.

Крім того, зменшення паспортного перерізу виробки призводить до порушення режиму вентиляції, водовідливу і в цілому створює загрозу для безпеки праці.

У зв'язку з цим, для більш повного відображення реальної гірничотехнічної ситуації, має сенс оцінювати загальну стійкість виробки не тільки за станом кріплення, але й за параметром, який буде відображати стійкість виробки за станом порід підосви –  $\omega_n$ .

Для зручності перемінна величина  $\omega_n$  буде визначатися аналогічним чином, як і для показника стійкості виробки за станом кріплення:

$$\omega_n = \frac{S'_n}{S}, \quad (2)$$

де  $S'_n$  – сумарна довжина ділянок виробок, що не потребують усунення наслідків здимання порід підосви.

Таким чином, складовими комплексного показника стійкості, назовемо його  $K_\omega$ , будуть два показники – показник стійкості виробки за станом кріплення  $\omega_\kappa$  та показник стійкості виробки станом порід підосви  $\omega_n$  [2]. На відміну від показника  $\omega_\kappa$ , показник, що пропонується, змінюється у більш широкому діапазоні, тобто  $0 \leq \omega_\kappa \leq \omega^x$ , де  $\omega^x$  – величина показника стійкості на момент завершення експлуатації виробки.

Розглянемо загальну стійкість системи «виробка-масив» з точки зору ймовірності її надійної роботи за двома показниками (за станом кріплення та за станом порід підосви). Тоді, керуючись основними положеннями теорії ймовірностей маємо наступні міркування. Існує випадкова подія  $A$  – «виробка знаходиться в стійкому стані». Ймовірність цієї події дорівнює  $K_\omega^1$ . Ця подія обумовлена двома додатковими подіями:  $A_1$  – «виробка стійка за станом кріплення» (ймовірність цієї події дорівнює  $\omega_\kappa$ ),  $A_2$  – «виробка стійка за станом порід підосви» (ймовірність цієї події дорівнює  $\omega_n$ ).

За умови, що ці події незалежні згідно теореми множення ймовірностей подія  $A$  по відношенню до події  $A_1$  та  $A_2$  є добутком подій  $A_1$  та  $A_2$ . Підставивши в рівність фактичні показники стійкості  $\omega_\kappa$  та  $\omega_n$  маємо:

$$K_\omega^1 = \omega_\kappa \cdot \omega_n.$$

Розглянемо випадок, коли виробка стійка тільки за одним фактором, тобто події  $A_1$  та  $A_2$  являються несумісними.

Тоді випадкова подія  $A$  – «виробка стійка або за фактором кріплення, або за фактором здимання порід підосви» за теоремою додавання ймовірностей є сума подій  $A_1$  та  $A_2$ . Ймовірність цієї події дорівнює  $K_\omega^2$ .

Підставивши в рівність фактичні показники стійкості  $\omega_\kappa$  та  $\omega_n$  у випадку, якщо розглядати події  $A_1$  та  $A_2$  як незалежні маємо:

$$K_\omega^2 = \omega_\kappa + \omega_n.$$

За кількісну оцінку стану виробки приймаємо відношення:

$$K_\omega = \frac{K_\omega^1}{K_\omega^2} = \frac{\omega_\kappa \cdot \omega_n}{\omega_\kappa + \omega_n}. \quad (3)$$

Для полегшення кількісної оцінки комплексного показника стійкості адаптуємо його для звичної п'ятибальної шкали, яка за своєю фізичною суттю буде подібна нормативним категоріям порід за стійкістю (табл. 1). У цьому випадку комплексний показник стійкості буде мати вигляд:

$$K_\omega = \frac{\omega_\kappa \cdot \omega_n}{\omega_\kappa + \omega_n} \cdot 10. \quad (4)$$

Категорія виробок за стійкістю

Категорія виробок за стійкістю	$K_{\omega}$
Стійкі	5 балів (від 4 до 5)
Середньої стійкості	4 бали (від 3 до 4)
Нестійкі	3 бали (від 2 до 3)
Сильно не стійкі	2 бали (від 1 до 2)
Аварійні / Практично зруйновані	1 бал (від 0 до 1)

Як приклад в табл. 2 наведено фактичні показники стійкості для магістральних виробок блоку №10 ШУ «Покровське», які співставленні з відомим з роботи [3] показником умов розробки.

Таблиця 2

Поточні показники стійкості та показники умов розробки для магістральних виробок блоку №10 «ШУ «Покровське»

Назва виробки	$\theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H}$	$K_{\omega} = \frac{\omega_{\kappa} \cdot \omega_n}{\omega_{\kappa} + \omega_n} \cdot 10$
	вибій-заїзд	категорія виробки за стійкістю
	категорія стійкості порід	
Вентиляційний бремсберг блоку № 10	0.67...0.76	2.7
	Нестійкі	Нестійка
Допоміжний бремсберг блоку № 10	0.67...0.76	2.4
	Нестійкі	Нестійка
Вентиляційний уклон блоку № 10	0.63...0.67	2.1
	Сильно нестійкі	Нестійка
Уклон блоку №10	0.61...0.67	1.8
	Сильно нестійкі	Сильно нестійка

На основі отриманих показників стійкості виробки для умов блоку №10 у відповідності до показника умов розробки отримана залежність зміни стійкості виробок в межах блоку №10 «ПАТ «Шахтоуправління «Покровське» для діапазону глибин 700-900 м (рис. 2).

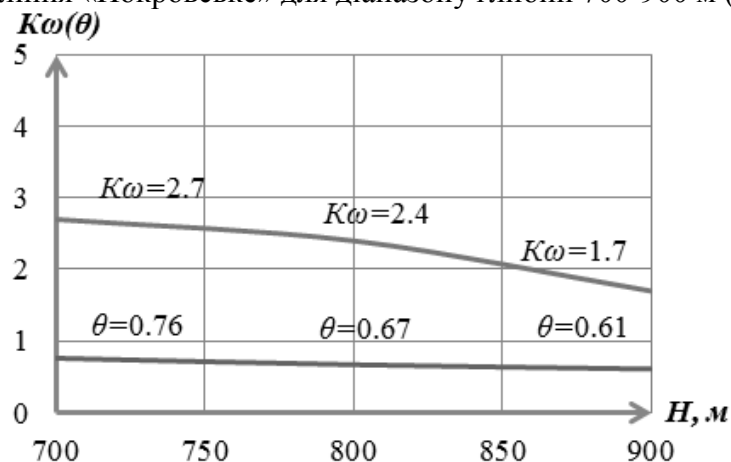


Рис. 2. Залежність показника стійкості виробок від глибини закладення

Як видно з рис. 2 стійкість протяжних виробок зі збільшенням глибини ведення робіт зменшується за нелінійним законом з інтенсифікацією протікання геомеханічних процесів пере-

важно в підосві виробки і може бути оцінена показником стійкості  $K_{\omega}$ , що дозволяє в конкретних умовах отримати розрахункову величину конвергенції для обґрунтування раціональних способів охорони виробок, які будуть споруджуватись у аналогічних гірничо-геологічних умовах.

При цьому, хоча аналіз результатів поточних візуальних спостережень в сукупності з даними про ремонтні роботи і дозволяє отримати динамічну картину зміни показника стійкості виробки  $K_{\omega}$  за весь час її експлуатації  $T$  (рис. 3), він не дає змогу прогнозувати частоту та інтенсивність виконання ремонтних робіт.

Саме тому, крім запропонованої п'ятибальної системи оцінювання стійкості виробки, можливо використовувати ще один критерій – показник  $\sum\omega$ .

Його перевагою є те, що крім поточної експлуатаційної оцінки він дає змогу прогнозувати частоту проведення робіт з усунення негативних наслідків здимання порід підосви з можливістю варіювання величиною підривання порід в залежності від технологічних особливостей гірничотехнічного об'єкту.



Рис. 3. Характер зміни показника стійкості виробки в часі

Сам комплексний показник стійкості  $\sum\omega$  визначається як сума показників стійкості за станом кріплення та порід підосви і має вигляд:

$$\sum \omega = \omega_{\kappa} + \omega_n = \frac{S'_{\kappa}}{S} + \frac{S'_n}{S}. \quad (5)$$

При цьому:

$$\omega_n = \omega_n(T) = T^{\frac{1}{b}} = u_n, \quad (6)$$

де  $b$  – коефіцієнт, що визначають в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов;  $u_n$  – критична величина здимання порід підосви (рис.4), яка вимагає проведення ремонтних робіт і може варіюватися в залежності від експлуатаційних особливостей виробки (за нормативами  $u_n = 0,3$  м і визначається необхідністю проведення ремонтних робіт з рихтування колії та підриванні порід підосви);  $T_p$  – міжремонтний період.

При цьому, якщо:  $\frac{1}{b} = \frac{\ln u_n}{\ln T_p}$ , коефіцієнт  $b$  визначається наступним чином:

$$b = \frac{\ln T_p}{\ln u_n}. \quad (7)$$

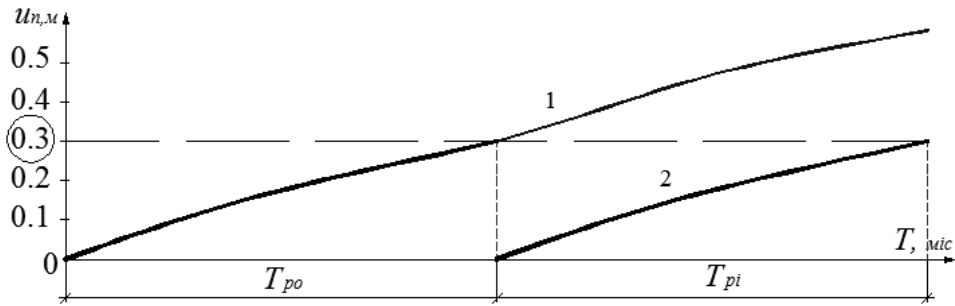


Рис. 4. Розвиток процесу здимання порід підшоши у часі: 1 – без виконання ремонтних робіт; 2 – з виконанням ремонтних робіт

Безпосередньо число робіт з усунення негативних наслідків здимання порід підшоши виробки на момент обстеження визначається як відношення повного терміну служби виробки на момент обстеження  $T_e$  до міжремонтного періоду  $T_p$  і має вигляд:

$$n = \frac{T_e}{T_p}, \quad n = n \left( \frac{R_c k_c}{\gamma H} \right).$$

де  $R_c$  – міцність масиву на одновісний стиск;  $k_c$  – коефіцієнт структурного послаблення;  $\gamma$  – об’ємна вага порід;  $H$  – глибина розробки.

Якщо  $T_e > T_p$ , тоді  $S_n$  буде визначатися за формулою:

$$S_n = nS + (S'_n) = \frac{T_b}{T_p} = n,$$

$$T_p = u_n^{-b}, \quad b = \frac{\ln T_p}{\ln u_{np}}.$$

Тоді:

$$\sum \omega = \frac{S'_k}{S} + n, \quad 0 < \sum \omega < \sum \omega_m,$$

$$\sum \omega = \omega \left( \frac{R_c k_c}{\gamma H} \right). \quad (8)$$

Висновки:

1. Виконаний аналіз відомого показника стійкості протяжних гірничих виробок  $\omega$ .
2. Для більш повного відображення реальної гірничотехнічної ситуації на базі відомого показника стійкості  $\omega$  запропоновано нові критерії оцінки стану –  $K_\omega$  та  $\sum \omega$ , які дозволяють характеризувати загальну стійкість виробки не тільки за станом кріплення, але й за параметром, який відображає стан порід підшоши.

#### Список літератури

1. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04.– Днепропетровск, 1988.– 507 с.
2. Халимендик О.В. Обгрунтування способу підвищення стійкості капітальних виробок в умовах великих зміщень породного контуру: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04.– Дніпропетровськ, 2012. – 189 с.
3. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости выработок. – Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04., 05.15.09. – Днепропетровск, 2009. – 426 с.