

О.В. Солодянкін, к.т.н., доц.  
Національний гірничий університет

## ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПОРІД ПІДОШВИ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

*На основі базового розв'язання задачі щодо критичного радіуса зони непружних деформацій, як критерію здимання порід підшоши гірничих виробок, запропонований більш практичний критерій, заснований на критичному значенні зміщень порід підшоши. Наведені залежності критичної величини зміщень підшоши від показника умов розробки та коефіцієнта бічного розпору масиву. Показані напрямки забезпечення стійкого стану порід підшоши виробок.*

**Вступ.** Перехід гірничих робіт на більш глибокі горизонти видобутку запасів, необхідність їх розробки в складних гірничо-геологічних умовах, інтенсифікація очисних робіт і пов'язані з цим збільшення площі поперечного перетину і довжини виробок призвели до серйозного погіршення геомеханічної ситуації на гірничодобувних підприємствах. Зважаючи на те, що перспектива розвитку вугільної промисловості України зв'язана з освоєнням глибоких горизонтів шахт, проблема забезпечення стійкості гірничих виробок набуває особливого значення.

Стан протяжних виробок шахт України, аналіз витрат на їх підтримку і ремонт свідчать, що найбільш трудомісткими процесами при забезпеченні їх експлуатаційного стану є заходи з попередження та ліквідації наслідків здимання порід підшоши виробок.

Незважаючи на значну кількість виконаних експериментальних і аналітичних досліджень, здимання порід підшоши виробок є до сьогоднішнього дня одним з найменш вивчених явищ. Саме тому в технічному плані домогтися відчутних позитивних результатів дотепер не вдалося. Однією з причин такої ситуації є те, що запропоновані математичні й фізичні моделі явища не цілком відбивають реальний процес. Особливо очевидним це стало з переходом гірничих робіт на великі глибини.

У зв'язку з цим важливою технічною задачею є розробка ефективних засобів і методів боротьби зі здиманням. Обґрунтування технологічних параметрів таких заходів нерозривно пов'язано з дослідженням закономірностей цього явища на основі адекватних реальному процесу теоретичних моделей.

**Постановка задачі.** В даний час відомий цілий ряд гіпотез, що по-різному пояснюють причину і механізм видавлювання порід підшоши у виробку. Пов'язують це явище з набряком порід під впливом вологи, випиранням порід під дією опорного тиску в боках виробки, сорбційним набряком газонасичених пористих середовищ, збільшенням об'єму внаслідок розпушення порід у зоні непружних деформацій (ЗНД) і т.д.

Аналіз досліджень в області здимання порід підшоши [1] показав, що надмірна простота, зайва ідеалізація вихідних передумов, закладених у розрахункові фізичні моделі, не дозволяють одержати аналітичні залежності, що адекватно відбивають процеси в приконтурному масиві. З огляду на деякі специфічні особливості процесу здимання порід у виробках в [1, 2] це явище розглянуто з позицій втрати пружноеластичної стійкості приконтурного масиву, навколо одиночної горизонтальної виробки. У результаті отриманий критерій здимання у вигляді:

$$\bar{\epsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* + 2 = 0, \quad (1)$$

де  $\bar{\epsilon}_v$  – середнє значення відносного збільшення об'єму порід у межах ЗНД;  $r_L^*$  – відносний критичний радіус області пластичних деформацій.

Вираз (1) визначає можливість переходу породного масиву навколо виробки з одного стійкого рівноважного стану в інший, що супроводжується здиманням порід підшоши. Фізична суть його полягає в наступному. У процесі непружного розширення порід у замкнутому об'ємі з жорсткими зовнішніми розмірами ( $r = r_L$ ) відбувається переміщення внутрішнього контуру ( $r = 1$ ). Доти, поки ці переміщення не досягнуть деякої критичної величини, внутрішній контур зберігає первісну форму. При досягненні ж критичних значень переміщень відбувається різке викривлення форми внутрішньої границі, що супроводжується зменшенням рівня потенційної

енергії в приконтурній зоні і великими переміщеннями на контурі виробки. Умова відсутності здимання порід підопшви у виробці має вигляд:

$$\bar{\varepsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* + 2 > 0. \tag{2}$$

Функція зв'язку між величинами, що входять в умову (1), апроксимується виразом:

$$r_L^* = 1 + \bar{\varepsilon}_v^{-0.4}. \tag{3}$$

Добре обґрунтований з погляду фізики процесу, запропонований критерій не зовсім зручний, оскільки визначити величину  $r_L^*$  з достатньою точністю в шахтних умовах практично неможливо. Більш зручним показником з погляду оцінки стану виробки і порід навколо неї є зміщення контуру виробки, що легко можна виміряти в натурних умовах. Таким чином, відносне збільшення об'єму  $\bar{\varepsilon}_v$  породного масиву навколо виробки, обмеженої критичним радіусом області пластичних деформацій  $r_L^*$ , призводить до критичних зміщень контуру виробки  $u^*$ , після чого відбувається різке викривлення форми внутрішньої границі, і виникають великі переміщення на контурі виробки – початок некерованого процесу здимання.

Задачею наступних досліджень є обґрунтування критичного значення переміщень контуру виробки  $u^*$  і визначення залежності цієї величини, що є показником здимання порід, від різних гірничо-геологічних умов експлуатації виробки. Першим етапом досягнення поставленої мети є знаходження компонентів переміщень і деформацій, а також конфігурації границі ЗНД навколо одиночної горизонтальної виробки. Розв'язання цієї задачі наведено в [1] і полягає в наступному.

**Пружнопластична рівновага породного масиву, ослабленого довгою горизонтальною виробкою.** Розглядається напружено-деформований стан (ПДС) однорідного ізотропного пружного масиву навколо одиночної горизонтальної виробки, розташованої на глибині  $H$  від земної поверхні поза зоною впливу очисних робіт (рис. 1). Радіус виробки –  $R_0$ , до її контуру прикладене рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю  $P_0$ , рівне несучій здатності кріплення. Породне середовище в межах зони впливу виробки уявляється невагомим. Помилка внаслідок такої ідеалізації, як показано в роботі [3], не перевищує 1 %.

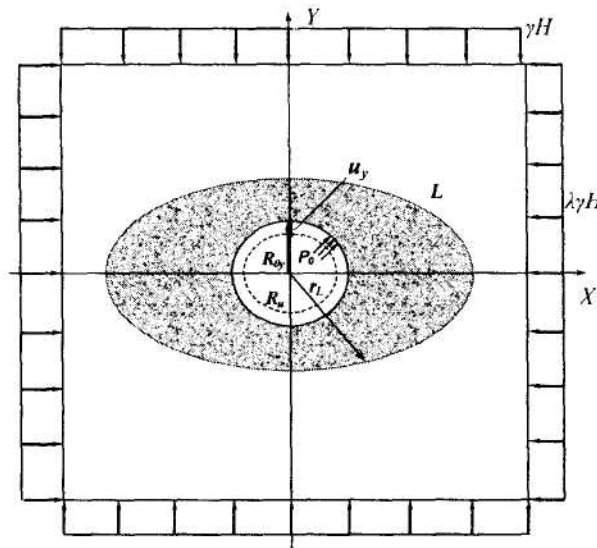


Рис. 1. Розрахункова схема до розв'язання задачі про пружно-пластичну рівновагу породного масиву

У напрямку осей  $X$  і  $Y$  на нескінченності прикладені зовнішні рівномірно розподілені навантаження, що можуть бути або не рівні один одному ( $\lambda \neq 1$ ), або рівні ( $\lambda = 1$ ). Величина цих навантажень така, що навколо виробки утворюється область пластичних деформацій, що цілком охоплює її контур. Розміри цієї області визначаються, головним чином, структурними і міцнісними властивостями вміщуючих порід і глибиною розташування виробки. Зовнішньою границею області пластичних деформацій є пружно деформована непорушена частина породного масиву. Найбільш порушеними є породи, що знаходяться безпосередньо на контурі виробки.

Деформування і руйнування породного середовища відбувається в режимі заданих деформацій з боку пружно стиснутої частини масиву. І для пружної, і для пластичної областей зберігається гіпотеза суцільності середовища. Розглядається випадок плоскої деформації.

У довільній точці породного масиву з координатами  $x, y$  компоненти напружень задовольняють рівнянням рівноваги:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

і умові спільності деформацій:

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = 0. \quad (5)$$

В області пластичних деформацій, крім того, має місце фізичне рівняння – критерій міцності для пластично неоднорідного породного середовища:

$$\sigma_\theta - \sigma_r = 2k \left( \frac{A}{r^2} - B \right), \quad (6)$$

де  $r$  – поточний радіус;  $k$  – коефіцієнт критерію міцності, що визначається формулою:

$$k = 0,5 \sqrt{R_c^2 \psi + (1 - \psi) R_c (\sigma_1 + \sigma_3)}; \quad (7)$$

$A$  і  $B$  – константи, що визначаються формулами:

$$A = \frac{r_L^2}{1 - r_L^2} (1 - k_{ocm}); \quad B = \frac{r_L^2 - k_{ocm}}{1 - r_L^2}, \quad (8)$$

$\psi = \frac{R_p}{R_c}$ ,  $R_p, R_c$  – відповідно межі міцності зразків гірських порід на одноосьове розтягання і стиск (для пластичного середовища  $0 \leq \psi \leq 1$ );  $k_{ocm}$  – коефіцієнт залишкової міцності

$k_{ocm} = \frac{R_{ocm}}{R_c}$ ,  $R_{ocm}$  – залишкова міцність порід на одноосьовий стиск на контурі виробки.

При цьому покладається, що дотичні напруження в пластичній області відсутні ( $\tau_{r\theta} = 0$ ).

Граничні умови мають вигляд:

– на контурі виробки

$$\tau_{r\theta}^{(1)} \Big|_{R=R_0} = 0, \sigma_r^{(1)} \Big|_{R=R_0} = P_0; \quad (9)$$

– на нескінченності

$$\sigma_x^\infty = \lambda \gamma H, \sigma_y^\infty = \gamma H, \tau_{xy}^\infty = 0. \quad (10)$$

На границі  $L$  між пластичною і пружною областями напруження безперервні:

$$\sigma_x^{(1)} = \sigma_x; \sigma_y^{(1)} = \sigma_y; \tau_{xy}^{(1)} = \tau_{xy}, \quad (11)$$

де компоненти напружень у пластичній області позначені індексом 1, розміщеним зверху, а напруження в пружній області – без індексу.

У результаті рішення задачі визначені компоненти напружень, деформацій і переміщення в пружній і непружній областях, а також форма контуру  $L$ , що розділяє ці області. Координати цієї області являють собою еліпс (рис. 2), рівняння якого має вигляд:

$$\frac{X^2}{C_3^2 (1 + \beta)^2} + \frac{Y^2}{C_3^2 (1 - \beta)^2} = 1, \quad (12)$$

де  $C_3$  – постійна інтегрування, що визначається за формулою:

$$C_3 = \exp \left[ \frac{A}{2B} - \frac{\gamma H}{4Bk} (1 + \lambda) + \frac{P_0}{2Bk} - \frac{1}{2} \right], \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\gamma H (1 - \lambda)}{2Bk}. \quad (14)$$

При  $\lambda = 1$ , що характерно для великих глибин розробки, контуром  $L$  буде коло з радіусом

$$r_L = \exp \left[ \frac{A}{2B} - \frac{\gamma H + P_0}{2Bk} - \frac{1}{2} \right]. \quad (15)$$

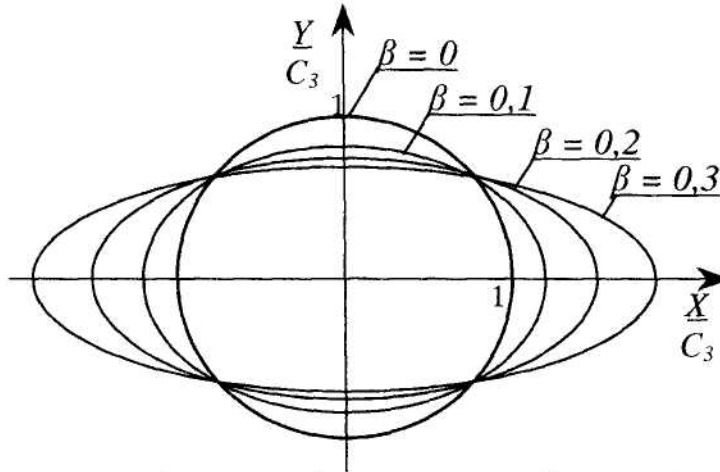


Рис. 2. Конфігурація області непружних деформацій навколо виробки в залежності від параметра  $\beta$

**Визначення переміщень контуру виробки з урахуванням об'ємного розширення порід у зоні непружних деформацій.** Лінією  $L$  на рис. 1 показаний зовнішній контур ЗНД, що розділяє пружну і пластичну зони деформування масиву навколо виробки. Лінією  $R_0$  позначений контур виробки на момент її проведення - до деформацій масиву. Лінією  $R_u$  (пунктир) – контур виробки після реалізації деформацій приконтурного масиву. Оскільки в умовах негідростатичного стиску зовнішній контур ЗНД являє собою еліпс, переміщення на контурі також будуть нерівномірні. Визначимо величину  $u_y$  – відносні вертикальні зсуви контуру виробки (уздовж осі  $Y$ ), де  $u_y = U/R_{0y}$ ,  $R_{0y}$  – вертикальний радіус виробки.

Позитивна координата  $Y$  зовнішнього контуру ЗНД із (12) при  $X = 0$  дорівнює:

$$Y^2 = C_3^2 (1 - \beta)^2 = \pm C_3 (1 - \beta). \tag{16}$$

Переміщення контуру виробки на величину  $u$  відбуваються в результаті розпушення порід. Величиною пружних деформацій зневажаємо. Розпушення порід у ЗНД означає їх об'ємне розширення, тому для його врахування будемо використовувати значення об'ємної деформації  $\epsilon_v$ , яка змінюється в межах  $0 \dots 0,2$ . У випадку відсутності розпушення  $\epsilon_v = 0$ . Так само допускаємо, що породи у всьому об'ємі ЗНД мають однаковий коефіцієнт розпушення.

Приймаючи  $Y = r$ ,  $R_{0y} = 1$ , запишемо:

$$u_y = (r_L - 1) \epsilon_v, \text{ або } u_y = (C_3 (1 - \beta) - 1) \epsilon_v. \tag{17}$$

Величиною  $k_{осм}$ , що входить у (8), без істотної помилки зневажаємо.

Несучу здатність кріплення  $P_0$  у даному випадку також не враховуємо. Як показано в [2], несуча здатність кріплення надзвичайно мало впливає на розміри ЗНД, тому що величина його на глибоких горизонтах шахт суттєво менше гравітаційного тиску  $\gamma H$ .

Після цих спрощень формула для визначення  $C_3$  запишеться у вигляді:

$$C_3 = \exp\left(-\frac{\gamma H (1 + \lambda)}{4Bk}\right). \tag{18}$$

У виразі (10) для визначення  $k$ , за умови, що  $\lambda$  не набагато відрізняється від 1, приймемо  $(\sigma_1 + \sigma_3) = 2\gamma H$ .

Введемо до формул для визначення  $k$ ,  $\beta$  і  $C_3$  показник умов розробки  $\theta = \frac{R_c}{\gamma H}$ :

$$\begin{aligned} u_y &= \left[ \exp\left(-\frac{(1 + \lambda)}{2B\theta\sqrt{\psi + \frac{2(1 - \psi)}{\theta}}}\right) \left(1 - \frac{(1 - \lambda)}{B\theta\sqrt{\psi + \frac{2(1 - \psi)}{\theta}}}\right) - 1 \right] \epsilon_v = \\ &= \left[ \exp\left(-\frac{(1 + \lambda)}{2N_o B}\right) \left(1 - \frac{(1 - \lambda)}{N_o B}\right) - 1 \right] \epsilon_v \end{aligned} \tag{19}$$

де  $N_\theta = \theta \sqrt{\psi + \frac{2(1-\psi)}{\theta}}$ .

**Обґрунтування критерію здимання порід підшоши гірничих виробок.** Багатьма дослідниками, що займалися проблемами здимання порід підшоши виробок, приймалася припустима (критична) величина зміщень порід, що робить істотний вплив на стан виробки.

Ю.З. Заславський [4] в якості такого критерію вводить поняття "поріг здимання"  $l_0 = 20$  см – величина підняття підшоши, при якій здимання починає помітно позначатися на стані виробки. Г.П. Шестаков [5] вважає критичною величиною зміщень порід, що здимаються, поводженням яких ще можна управляти  $U < 0,3$  м. В «Прогнозном каталогі шахтопластов Донецького басейна...» [6] для пластових виробок, проведених по простяганню, площею перетину 8...12 м<sup>2</sup>, показником наявності здимання підшоши приймається їх підняття на величину  $U = 0,2...0,3$  м. Імовірність здимання  $P = 1,0$  для виробок, що знаходяться поза зоною впливу очисних робіт, досягається, як показано у [8], при показнику відносних зміщень підшоши  $U/a = 0,1...0,12$  ( $a$  – напівпроліт виробки).

Таким чином, цілком обґрунтовано для виробок, що знаходяться поза зоною впливу очисних робіт, величину критичних зміщень можна брати рівною  $u^* = 0,1$ , що для більшості типових перетинів виробок радіусом 1,5...3 м складає абсолютне підняття 0,2...0,3 м.

Підтвердженням даної величини є критерій стійкості [9], в основу якого покладені величини зміщень породного контуру незакріплених гірничих виробок. Відповідні ним значення показника умов розробки  $\theta$  наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Категорії порід за стійкістю

Категорія порід за стійкістю	Зміщення контуру виробки, мм	$\theta = \frac{R_c}{\gamma H}$	$\theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H}$
Стійкі	До 50	Більш 5,0	Більш 1,67
Середньої стійкості	50–200	3,0–5,0	1,0–1,67
Нестійкі	200–500	2,0–3,0	0,67–1,0
Сильно нестійкі	Понад 500	Менш 2,0	Менш 0,67

Згідно з даними табл. 1, до порід, поводженням яких можна керувати, застосовуючи різні заходи, відносяться середньої стійкості породи, зі зсувами до 200 мм ( $\theta = 1,0$ ).

З урахуванням цього приймемо до подальшого розгляду рішення для  $u^* = 0,1$ .

**Пружно-пластична стійкість породного масиву.** Залежність радіуса ЗНД  $r_L^*$  від величини об'ємного розширення порід  $\varepsilon_v$  у зоні непружних деформацій для базового рішення, отриманого в [1] (вираз 3), показано на рис. 3 (лінія 1).

Залежність  $r_L = f(\varepsilon_v)$  для критичних зсувів  $u^* = 0,1$ , обґрунтована вище як критерій здимання, розрахована за ф. 19 для гідростатичного розподілу зовнішніх навантажень ( $\lambda = 1$ ) і показника умов розробки  $\theta = 1,0$ , показана лінією 2 (рис. 3).

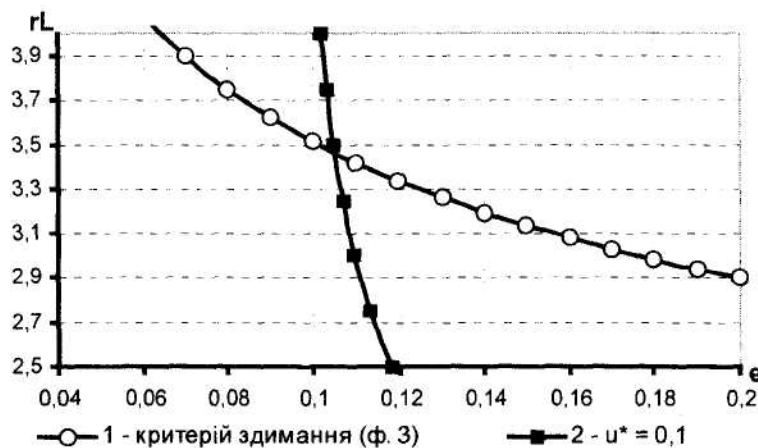


Рис. 3. Залежність радіуса ЗНД  $r_L$  від величини об'ємного розширення порід  $\varepsilon_v$

Апроксимуюча степенева залежність, що приводить розв'язання (19) для  $u^*$  до базового розв'язання для критичного радіуса ЗНД  $r^*$  (графік 1, рис. 3), має вигляд:

$$f(\varepsilon_v) = 3.2 - 73\varepsilon_v + 414.4\varepsilon_v^2. \tag{20}$$

Тоді шуканим розв'язком для  $u^*$  буде:

$$u_y^* = 0.006 \left( 14.7 + \sqrt{1 - 67.2\varepsilon_v} \right) \left[ \exp\left(-\frac{1}{NB}\right) - 1 \right]. \tag{21}$$

Вираз (21) для умов негідростатичного розподілу зовнішніх навантажень буде мати вигляд:

$$u_y^* = 0.006 \left( 14.7 + \sqrt{1 + 67.2\varepsilon_v} \right) \left[ \exp\left(-\frac{(1+\lambda)}{2NB}\right) \left( 1 - \frac{(1-\lambda)}{NB} \right) - 1 \right] \varepsilon_v. \tag{22}$$

**Аналіз результатів аналітичних досліджень.** Для прогнозу можливості здимання важливим є встановлення величини критичних зміщень контуру виробки для різних гірничо-геологічних умов.

Діапазон величин, що входять у формулу, наступний.

Величину коефіцієнта бічного розпору з урахуванням тектонічних напружень, а також на випадок впливу очисних робіт, приймаємо в більш широкому діапазоні:  $\lambda = 0 \dots 1,5$

Значення коефіцієнта  $\psi$  в припущенні гірських порід як матеріалів крихких  $\psi = 0,12$ .

Розрахункові величини зсувів контуру виробки, що є критерієм здимання (стійкості контуру виробки), у залежності від показника умов розробки при гідростатичному впливові зовнішнього навантаження представлені на рис. 4. Такі умови характерні для глибоких горизонтів пологозалагаючих родовищ осадового походження, а також для вертикальних виробок.

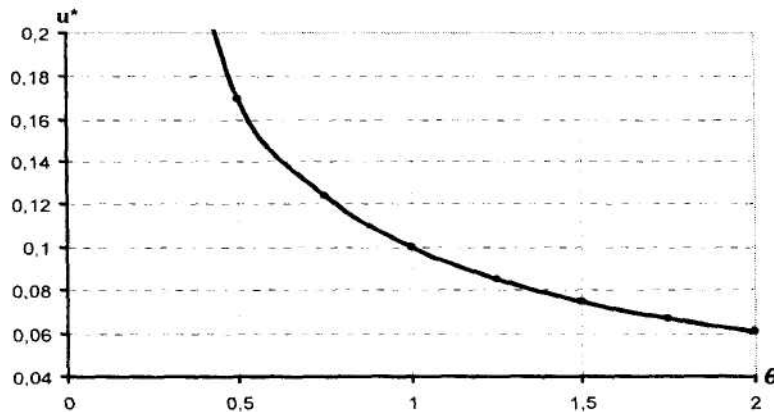


Рис. 4. Залежність критичної величини переміщень контуру виробки від показника умов розробки  $\theta$  в умовах гідростатичного розподілу напруг

Залежності критичних зміщень контуру виробки від показника умов розробки при негідростатичному впливові зовнішніх навантажень наведені на рис. 5.

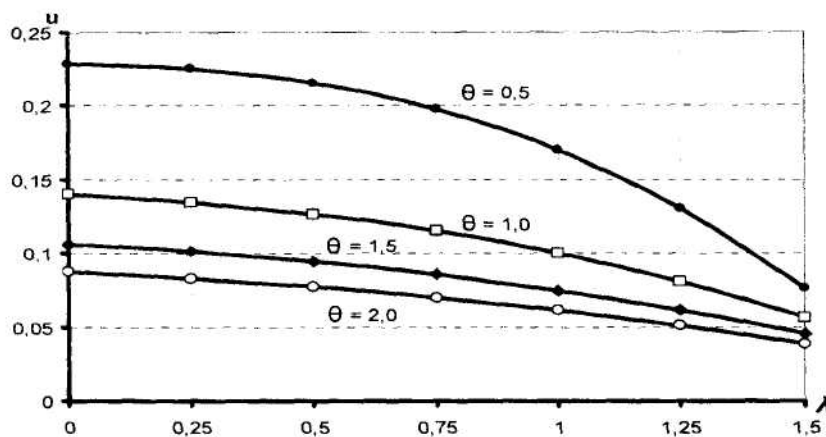


Рис. 5. Залежність критичної величини переміщень контуру виробки від показника умов розробки  $\theta$  і коефіцієнта бічного розпору  $\lambda$

Отримані результати свідчать про те, що при збільшенні коефіцієнта бічного розпору, що може бути результатом впливу очисних робіт, близько розташованих виробок, а також впливом тектонічних напружень, критичні зміщення, що приводять до втрати стійкості приконтурного масиву, знижуються, тобто некерований розвиток здимання у виробці може починатися при менших значеннях зміщень контуру виробки, що необхідно враховувати при плануванні заходів, спрямованих на забезпечення тривалої стійкості виробки.

Дані розрахунки також свідчать, що критична величина зміщень контуру при збільшенні показника умов розробки  $\theta$  знижується, тобто при більш міцних породах, а також зі збільшенням глибини розробки, втрата пружно-пластичної стійкості може відбуватися при менших значеннях  $u^*$  і, гадаю, більш інтенсивно – подібно крихкому руйнуванню.

Забезпечити стійкий стан порід підосви, як впливає з отриманого співвідношення (22), можна шляхом проведення різних заходів, спрямованих на зменшення величини  $r_L$ , або зменшення величини  $\varepsilon_v$ .

Зменшення величини радіуса області непружних деформацій досягається шляхом збільшення міцності приконтурного масиву. Для цього можна, по-перше, провести його зміцнення мінеральними або синтетичними в'язкими речовинами. Цей захід повинний бути проведений у привибійному просторі до утворення області непружних деформацій, що не завжди можливо за технологічних і гірничо-геологічних причин. Зміцнення приконтурного масиву у вибої виробки може бути здійснене також шляхом установки анкерів з закріпленням їх по всій довжині.

По-друге, досить ефективним заходом при існуючих глибинах розробки може стати ізоляція бічних порід, що перешкоджає можливості контакту з рудничною атмосферою, попереджаючи їх розмокання і втрату міцності.

Численні дослідження поведження порід в умовах «жорсткого» деформування показали, що максимальна величина об'ємного розпушення (приконтурна область масиву) дуже чутлива до наявності бічного тиску. Причому чим нижче міцність порід, тим сильніше позначається ефект підпору. У виробках роль бічного тиску для приконтурного масиву відіграє несуча здатність кріплення  $P_0$ . Тому зменшення величини об'ємного розширення приконтурного масиву можливо шляхом застосування конструкцій кріплень, що мають високу несучу здатність, у першу чергу, із замкнутим контуром – кільцеві і зі зворотним склепінням.

#### **Висновки.**

1. На основі розв'язання задачі про критичний радіус ЗНД – критерію здимання при представленні явища здимання порід підосви, як факту втрати пружно-пластичної стійкості породного масиву, запропонований більш зручний із практичної точки зору критерій здимання – критичні зміщення порід підосви, що знаходяться в нелінійній залежності від критичного радіуса ЗНД і середнього об'ємного розширення порід.

2. Величина критичних зміщень контуру виробки, як критерій пружно-пластичної стійкості масиву, нелінійно залежить від показника умов розробки і коефіцієнта бічного тиску і зворотно пропорційний їх величинам, що необхідно враховувати при плануванні заходів, спрямованих на забезпечення тривалої стійкості виробки.

3. Забезпечити стійкий стан порід підосви виробки можна шляхом проведення заходів, спрямованих на зменшення розмірів зони непружних деформацій і зниження розшарувань порід у її межах, головним чином – зони приконтурного масиву.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Шашенко А.Н.* Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
2. *Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А.* Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Упівер. вид-во "Пульсари", 2002. – 304 с.
3. *Руппенейт К.В.* Некоторые вопросы механики горных пород. – М.: Углетехиздат, 1954. – 383 с.
4. *Заславский Ю.З.* Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна. – М.: Недра, 1966. – 180 с.
5. *Шестаков Г.П.* Влияние структурно-геологических особенностей на определение напряжений и устойчивость почвы горных выработок шахт Донбасса. Приложение

- результатов исследований полей напряжений к решению задач горного дела и инженерной геологии: Сб. науч. тр. – Апатиты, 1985. – С. 100–104.
6. Прогнозный каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. – М.: ИГД им. Скочинского, 1982. – 267 с.
  7. *Солодянкин А.В.* Обоснование параметров способа усиления крепи подготовительных выработок при несимметричной нагрузке.: Дисс...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 1996. – 243 с.
  8. *Фесенко Э.В.* Прогноз и закономерности пучения слоистых пород почвы горных выработок.: Дисс...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2005. – 187 с.
  9. СНИП II-94–80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.

**СОЛОДЯНКІН** Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, докторант кафедри будівництва і геомеханіки Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- проблеми механіки гірських порід;
- технологія будівництва підземних споруд;
- проблеми забезпечення тривалої стійкості гірничих виробок.

тел. (056) 373-07-69, E-mail: [ShashenkoA@nmnu.dp.ua](mailto:ShashenkoA@nmnu.dp.ua).

Подано 25.05.2006