

УДК 622.831

О.О.ІСАЄНКОВ (ст. викл.)

Індустріальний інститут ДВНЗ «Донецького національного технічного університету» МОН України, м. Покровськ

І.Г.САХНО (д-р. техн. наук. проф.)

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, м. Покровськ

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛОКАЛЬНОГО УКРІПЛЕННЯ ПІДОШВИ ЗА РАХУНОК КОНСОЛІДАЦІЇ ПОРІД СУМІШАМИ, ЩО САМОРОЗШИРЮЮТЬСЯ

В статті визначено актуальність проблеми забезпечення стійкості порід підосви. Стаття містить результати шахтних візуальних спостережень за станом порід при веденні підривки. Наведені результати розрахунку параметрів розробленого способу підвищення стійкості виробок методом граничної рівноваги. Визначено необхідний тиск від розширення сумішей для формування укріпленої зони встановленої форми і розмірів.

Ключові слова: гірничі виробки, штрек, підняття підосви, зрушення, зона непружних деформацій, зона руйнування, деформація

Найбільш поширеним видом деформацій контуру виробки є підняття підосви. За різними оцінками в Україні близько 70-75% виробок, що обслуговують очисні вибої, не залежно від системи розробки і темпів посування лав потерпають від цього явища. В підготовчих виробках, збійках і квершлагах це явище також спостерігається. Підривка порід підосви і перекріплення виробок це постійна стаття витрат вугільних шахт. Ця проблема не є локальною для нашої держави, вона характерна для більшості країн з розвинутою вугільною промисловістю [1-4]. Основним способом боротьби з підняттям підосви є підривка порід. В більшості розвинених країн підривка ведеться за допомогою спеціальних машин (рис. 1).



Рис.1. Перерізи порід підосви при механізованому веденні підривок а), б) конвеєрний штрек лави В-10 пл. 401 JSW S.A. KWК «Budryk», Польща (2016 р), на відстані 30 м перед лавою і 5 м після проходу лави відповідно [5];

Нажаль стан механізації ремонтних робіт в Україні занадто низький, породопідривні машини і комбайни використовуються менше ніж в 10% виробок. Тому відновлення контуру виробок ведеться переважно за допомогою відбійних молотків (рис. 2), або БПР. Тому вартість робіт з підривки занадто висока, а темпи менші ніж необхідні для нівелювання швидкості деформацій підосви. Цим зумовлена проблема дослідження цієї статті.



Рис.2. Перерізи порід підшви при веденні підрибок відбійним молотком
 а) 10 збійка конвеєрного і грузового похилу пл. к₈ ш. ім. Димитрова (2015 р.);
 б) квершлаг на пл. с₁₈ ДП «Південно Донбаська №1» (2017р.)

Чисельні натурні спостереження проведені на шахтах Донбасу свідчать про те, що породи приконтурної зони під час підрибки знаходяться в дискретному стані [6]. Аналогічний висновок можна зробити зі світлин на рис. 1 і 2. Характерно, що ступінь руйнування порід перед підходом лави і за лавою (рис. 1) відрізняється. За лавою породи більш подрібнені. При цьому загальна висота підрибки, що ведеться до і після лави співвимірна з висотою штреку.

Для таких умов авторами запропоновано спосіб забезпечення стійкості гірничих виробок [7]. Відмінною рисою запропонованого способу є те, що при мінімальній витраті швидкотвердіючого складу забезпечується створення в підшві виробки консолідованої породної зони з заданими параметрами. При цьому зміцнюється не весь обсяг породи в межах створюваної зони, а тільки певна область. Ефект зміцнення досягається за рахунок стиснення порід і підвищення тертя між породними фрагментами при саморозширенні суміші вміщеної в шпури.

Для реалізації способу треба встановити необхідний тиск суміші, що розширюється, для формування стійкої укріпленої зони.

Для вирішення цих задач було використано метод граничної рівноваги.

Стверджувати, що консолідована укріплена зона у формі трикутної призми є стійкою можна за умови стійкості її в найнебезпечнішому перетині. Таким перетином, для нашої задачі є область порід біля підстави трикутника основи призми, де між шпурами з матеріалом, що розширюється максимальна відстань. Розрахункова схема для описаного випадку наведена на рис. 3.

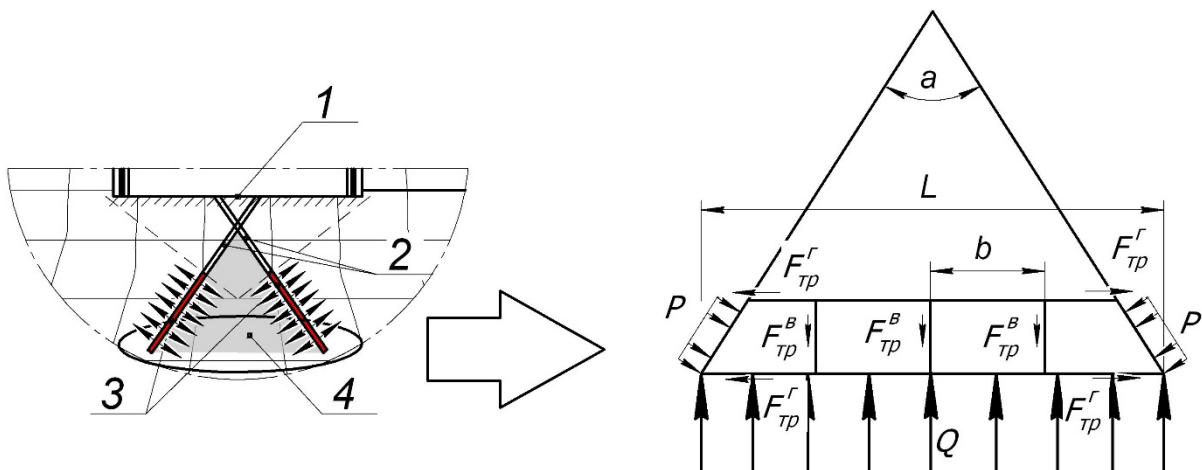


Рис. 3 – Розрахункова схема формування сил в межах консолідованої зони

Розглянемо задачу для одиничної товщини d .

Рівноважний стан області породного масиву по ширині L забезпечується за рахунок застосування розподіленого навантаження P (тиск суміші, що розширюється) по його краях на ділянці довжиною y . При цьому сумарні сили тертя по вертикальним межах породних блоків F_{mp}^6 врівноважуються їх вагою з урахуванням додаткового навантаження, створюваного тиском від зростання зони руйнування Q .

Ця умова записується у вигляді:

$$\frac{Q}{L \cdot d} = \Sigma F_{\delta\delta}^{\bar{a}} + \frac{P \sin \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} \quad (1)$$

Сили тертя, що діють на межах породних блоків дорівнюють:

$$F_{\delta\delta}^{\bar{a}} = \left(\frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} - F_{\delta\delta}^{\bar{a}} \right) \cdot k_{\delta\delta} \cdot (n+1) \quad (2)$$

где $P \cos \frac{\alpha}{2}$ – проекція тиску матеріалу, що розширюється і стискає породні блоки на горизонтальну площу, Па;

$P \sin \frac{\alpha}{2}$ – проекція тиску матеріалу, що розширюється і стискає породні блоки на вертикальну площу, Па;

F_{mp}^2 – горизонтальні сили тертя по межах блоку, що стискається, Н;

$k_{тр}$ – коефіцієнт тертя породи о породу;

n – кількість блоків, на які поділено породний шар

$$F_{\delta\delta}^{\bar{a}} = \frac{P \sin \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} \cdot k_{\delta\delta} + y \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot L \cdot \gamma \cdot k_{\delta\delta} \quad (3)$$

Тоді умова рівноваги (1) з урахуванням (2) і (3) набуде вигляду

$$\frac{Q}{L \cdot d} = \left(\frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} - \left(\frac{P \sin \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} \cdot k_{\delta\delta} + y \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot L \cdot \gamma \cdot k_{\delta\delta} \right) \right) \cdot k_{\delta\delta} \cdot (n+1) + \frac{P \sin \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} \quad (4)$$

$$P = \left(\frac{Q}{L \cdot d} + y \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot L \cdot \gamma \cdot k_{\delta\delta}^2 (n+1) \right) \Bigg/ \left(\frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} - \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} \cdot k_{\delta\delta}^2 (n+1) + \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} \right) \quad (5)$$

Для визначення навантаження Q від зростання зони зруйнованих порід розглянемо наступну задачу.

Виробка круглої форми (рис. 4) радіусом R_1 пройдена на глибині H і підтримується кріпленням з несучою здатністю P_0 , що працює в режимі постійного опору. Прийнято допущення, що породи, що вміщують виробку однорідні і ізотропні, напруження в недоторканого масиві прийняті гідростатичними – γH .

Можливість заміни виробки будь-якої форми поперечного перерізу на круглу в аналітичних дослідженнях обґрунтована в роботі [8]. Можлива похибка при цьому не перевищує 10%. Як показали результати досліджень, виконаних в роботах [9], величина коефіцієнта бічного розпору на глибинах понад 600 м наближається до одиниці.

До моменту початку робіт навколо виробки утворилася зона крихкого руйнування з розміром r_p (ЗЗП - зона I) і продовжує формуватися зона пластичної течії. Її розмір становить r_3 .

В результаті деформування порід в зонах крихкого руйнування і пластичної течії на величину dR до r_3^1 відбулися зміщення контуру виробки і її радіус зменшився до r^*_B .

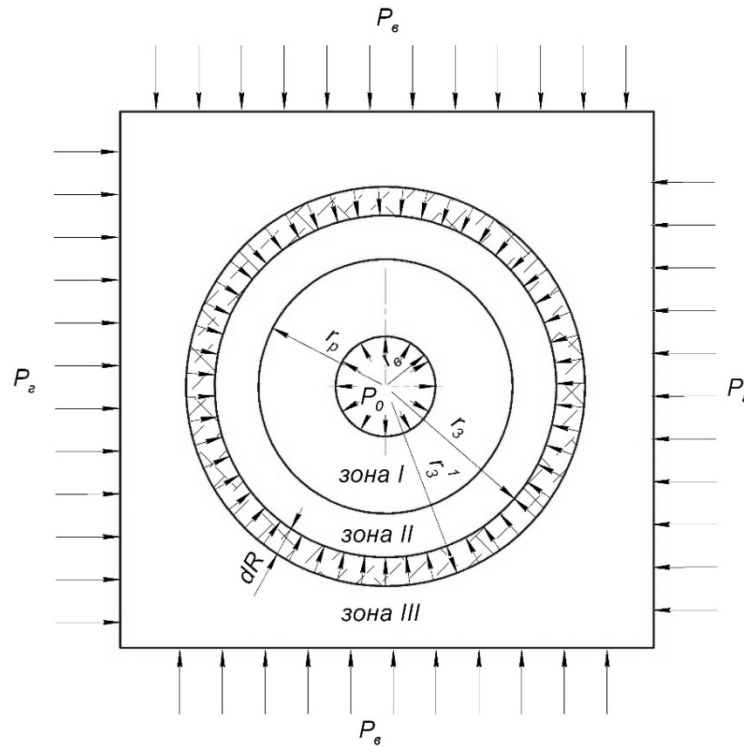


Рис.4. Схема для розрахунку напружень навколо виробки

Для вирішення задачі використовуємо методи теорії граничної рівноваги. Стан порід в зоні I описується виразом:

$$\sigma_{\theta 1} - (2\lambda + 1) \cdot \sigma_{r1} = \sigma_i^{\text{m}\delta}, \quad (6)$$

де $\sigma_{\theta 1}$ і σ_{r1} – відповідно тангенціальні і радіальні діючі напруження;

λ – коефіцієнт бокового розпору;

$\sigma_i^{\text{m}\delta}$ – залишкова міцність порід в зоні I.

Залишкова міцність породи може бути визначена з виразу:

$$\sigma_n^{\text{ocm}} = (2\lambda + 1) \cdot \sigma_r + \sigma_0 - E^* \cdot \varepsilon'_p, \quad (7)$$

де E^* – деформаційна характеристика, що описує кут нахилу спадаючої ділянки повної діаграми деформування. Визначається за даними експериментальних досліджень з виразу:

$$E^* = \frac{\sigma_0 - \sigma_n^{\text{ocm}}}{\varepsilon'_p}, \quad (8)$$

де $\varepsilon'_\delta = \varepsilon'_1$ – позамежна поздовжня деформація породи в I зоні.

Розподіл радіальних і тангенціальних напружень в зоні I описується виразом:

$$\sigma_{r1} = \left(P_0 + \frac{\sigma_n^{\text{ocm}}}{2\lambda} \right) \cdot r^{2\lambda} - \frac{\sigma_n^{\text{ocm}}}{2\lambda}, \quad (9)$$

$$\sigma_{\theta 1} = (2\lambda + 1) \left(P_0 + \frac{\sigma_n^{\text{ocm}}}{2\lambda} \right) \cdot r^{2\lambda} - \frac{\sigma_n^{\text{ocm}}}{2\lambda} \quad (10)$$

Відповідно до прийнятої робочої схеми, навантаження зміцненої області відбувається

радіальними напруженнями σ_{r1} , тому в першому наближенні можна прийняти

$$Q = \sigma_{r1} = \left(P_0 + \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda} \right) \cdot r^{2\lambda} - \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda}, \quad (11)$$

тоді умова рівноваги набуде вигляду:

$$P = \left(\frac{\left(P_0 + \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda} \right) \cdot r^{2\lambda} - \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda}}{L \cdot d} + y \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot L \cdot \gamma \cdot k_{mp}^2 (n+1) \right) \left/ \frac{\cos \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d} \cdot k_{mp}^2 (n+1) + \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{y \cdot d}}{y \cdot d} \right. \quad (12)$$

На рис. 5 приведена залежність необхідного тиску розширення від ступеня руйнування масиву при укріпленій зоні в формі призми з підставою трикутника основи 4,8 м, кутом при його вершині 60 градусів, коефіцієнті тертя 0,45.

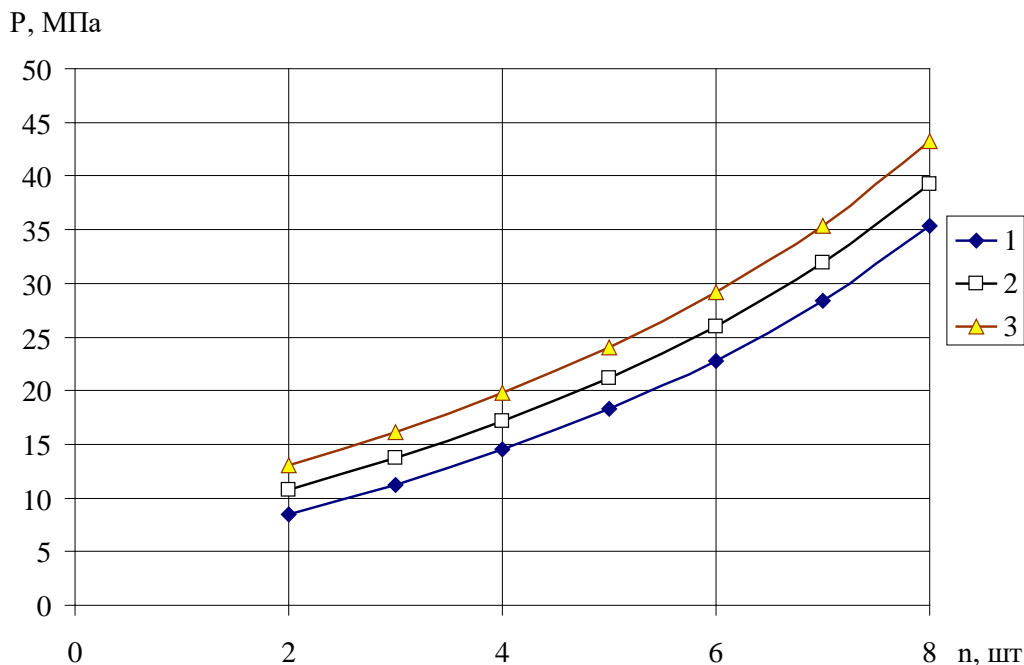


Рис. 5. Графіки залежності необхідного тиску розширення від кількості породних блоків в нижній частині зміцненої зони при остаточній міцності порід в межах ЗЗП: 1 – 10 МПа, 2 – 20 МПа, 3 – 30 МПа

З графіків видно, що найбільший необхідний тиск розширення для підтримання форми укріпленої зони в стійкому стані для змодельованої ситуації досягає 43 МПа. Такі тиски цілком можливо забезпечити за допомогою невибухових руйнуючих сумішей на основі оксиду кальцію. Але навіть при втраті рівноваги в найширшій частині укріплена зона буде виконувати свою функцію, тому, що в середині неї формується більш ущільнена консолідована зона, що зумовлено зменшенням відстані між шпурами з матеріалом, що розширюється.

Таким чином, слід зробити наступні **висновки**.

Проблема підняття порід підосви гірничих виробок є актуальною для більшості шахт, що займаються вийманням вугілля на значних глибинах. При цьому породи приконтурної зони уявляють собою блочно-дискретне середовище. Розмір блоків в підосві штреку зумовлений співвідношенням міцності порід і діючих напруг.

При формуванні в підосві виробки зміцненої зони у формі трикутної призми, необхідний тиск, що розвивається сумішно, що саморозширюється становить близько 43 МПа. Такі

тиски цілком можливо забезпечити за допомогою невибухових руйнуючих сумішей на основі оксиду кальцію.

Библиографический список

1. Chang, J.-C. & Xie, G.-X. (2011). Floor heave mechanism and over-excavation & grouting-backfilling technology in rock roadway of deep mine / Journal of Mining and Safety Engineering 2011; 28 (3), P. 361–369.
2. He MC, Xie HP, Peng SP & Jiang YD. (2005). Study of rock mechanics in deep mining engineering / Chin J Rock Mech Eng 2005; 24 (16). P. 2803–2813.
3. Jiong Wanga, Zhibiao Guoa, Yubiao Yana, Jiewen Panga & Shujiang Zhaoa. (2012). Floor heave in the west wing track haulage roadway of the Tingnan Coal Mine: Mechanism and control International / Journal of Mining Science and Technology 2012; 22, P. 295–299.
4. Wang JX, Lin MY, Tian DX & Zhao CL. (2009). Deformation characteristics of surrounding rock of broken and soft rock roadway / Journal of Mining Science and Technology 2009; 19 (2), P. 205-209.
5. Łukawski S. (2017). Doświadczenia KWK „Budryk” w utrzymaniu chodników przyścianowych za frontem ściany na dużych głębokościach szansą na wzrost efektywności eksploatacji. XXVI Szkoła Eksploatacji Podziemnej 22-24 Lutego 2017, Krakow.
6. Ісаєнков О.О. Деформування і стан порід підшоши підготовчих виробок / І.Г. Сахно, О.О. Ісаєнков // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2016. - №2. С. 76-81.
7. Сахно І.Г. Спосіб забезпечення устійності ґрунту горних виробок в зоні впливу очистних робіт / І.Г. Сахно, Ю.А. Петренко, А.А. Ісаєнков // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2014. - №1-2. С. 354-358.
8. Черняк І.Л., Бурчаков Ю.І., Григорьев Р.І. Влияние сопротивления крепи на смещения пород вокруг подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ // Уголь Украины. – 1974. – № 8. – С. 21-23.
9. Черняк І.Л., Ярунин С.А. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 1995. – 395 с.

Надійшла до редакції 10.02.2017

А.А.Исаєнков

Индустриальный институт ГВУЗ «Донецкого национального технического университета» МОН Украины, г. Покровск

І.Г. Сахно

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» МОН Украины, г. Покровск

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОГО УКРЕПЛЕНИЯ ПОЧВЫ ЗА СЧЕТ КОНСОЛИДАЦИИ ПОРОД РАСШИРЯЮЩИМИСЯ СМЕСЯМИ

В статье определена актуальность проблемы обеспечения устойчивости пород почвы. Содержатся результаты шахтных визуальных наблюдений за состоянием пород при ведении подрывки. Приведены результаты расчета параметров разработанного способа повышения устойчивости выработок методом предельного равновесия. Определено необходимое давление расширяющихся смесей для формирования укрепленной зоны установленной формы и размеров.

Ключевые слова: горные выработки, штрек, пучение почвы, зона неупругих деформаций, зона разрушения, деформация

О.Ісаєнков

Industrial institute of state higher educational establishment Donetsk national technical university, Ukraine, Pokrovsk

І.Сахно

State higher educational establishment “Donetsk national technical university”, Ukraine, Pokrovsk

SUBSTANTIATION PARAMETERS OF LOCAL SOIL STRENGTHENING CONSOLIDATION OF BREEDS WITH EXTENSIBLE MIXTURES

The article defines the urgency of the problem sustainability the soil . The results of mine visual observations of the state of rocks during the conduct an excavation are contained. The results of calculating the parameters of the developed method for increasing the stability workings by the method of limiting equilibrium are presented. The necessary pressure of expanding mixtures is determined to form a reinforced zone of established shape and dimensions.

Keywords : roadway, floor heave, zone destruction, zone not elastic deformation, deformation