

ЗАСТОСУВАННЯ КОНЦЕНТРАТОРІВ РУЙНУВАННЯ ПРИ ВИЙМАННІ ВУГІЛЬНИХ ЦІЛИКІВ

*К. К. Ткачук, докт. техн. наук, С. М. Стовпник, Т. В. Гребенюк, інженери
(НТУУ «КПІ»)*

Рассмотрен способ разрушения угольных целиков с помощью концентраторов напряжений, обеспечивающих возникновение и распространение отделяющей монотрещины в определенном направлении. Обоснована форма участка концентрации напряжений исходя из оптимальной площади взаимодействия массива и разрушающего элемента.

Ключевые слова: охранные целики, трещинообразование, невзрывчатая разрушающая смесь, концентраторы напряжений, добыча угля.

Розглянуто спосіб руйнування вугільних ціликів з допомогою концентраторів напружень, що забезпечують виникнення і поширення відокремлюючої монотріщини у певному напрямку. Обґрунтовано форму ділянки концентрації напружень виходячи з оптимальної площі взаємодії масиву та руйнуючого елемента.

Ключові слова: охоронні цілики, тріщиноутворення, невзбухова руйнуюча суміш, концентратори напружень, видобуток вугілля.

The way to destruct coal pillars by stress concentrators that ensure formation and propagation of separating monocrack. Form of the stress concentration area based on the optimal surface area of the interaction between the collar and destruction tool is established.

Keywords: coal pillars, formation of cracks, non-explosive destruction mix, stress concentrator, coal mining.

Вступ. У процесі розробки вугільних родовищ більшість шахт відпрацьовує кілька вугільних пластів згори донизу, що викликає появу небезпечних зон в межах робочого горизонту від охоронних ціликів, залишених на розташованих вище пластах.

Виконання робіт в межах зон впливу залишених ціликів суворо регламентується Правилами безпеки і фактично обмежує можливості розвитку гірничих робіт на перспективних глибинах залягання корисних копалин [1].

Обґрунтування напрямку досліджень. Необхідність ліквідації залишених охоронних ціликів виникає, як правило, при продовженні роботи вугільного підприємства після проведення капітальної реконструкції з поглибленням стволів. У цьому випадку зона впливу розташованого вище цілика обмежує можливості розташування виробок приствольного двору, що виключає можливість видобування запасів. У іншому випадку, при ліквідації вертикальних стволів, виникає потреба у відпрацюванні приствольних ціликів, складених цінним коксівним вугіллям. Поширені технології виймання ціликів передбачають застосування традиційних механізмів (вугільних комбайнів) або способів (наприклад буровибухового) [2]. Однак механізоване виймання комбайнами рентабельне лише тоді, коли розміри цілика досягають десятків метрів, що зустрічається досить рідко. Вибухове виймання цілика не забезпечує стійкості приствольного масиву і викликає раптове обрушення оточуючих

порід. Тому найбільш поширеним залишається виймання вугілля в ціликах за допомогою ручної праці.

Мета досліджень – розроблення способу виймання вугілля в ціликах без застосування ручної праці при забезпеченні стійкості гірського масиву шляхом виключення динамічних навантажень.

Виклад основного матеріалу. Аналіз відомих способів руйнування гірських порід дозволив виділити групу технічних рішень, здатних забезпечити умови руйнування вугілля в ціликах.

Вибурування ціликів передбачає виймання вугілля при бурінні паралельних свердловин на всю ширину цілика з подальшим розширенням свердловин. Цей спосіб дозволяє суттєво підвищити відсоток видобутку запасів, але не ліквідує зону опорного тиску під ціликом.

Найкраще відповідає умовам руйнування порід в розглянутих випадках застосування невибухової руйнуючої суміші (НРС), яка широко застосовується для відокремлення гранітних блоків.

Враховуючи, що вугілля в напруженому стані за наявності кількох площин відслонення руйнується виключно крихким чином, а розвиток руйнування за допомогою направленої монощільни виключає динамічні навантаження на масив, ця технологія може бути пристосована для умов підземних робіт [3]. Просте заповнення свердловин НРС не забезпечує спрямованості дії і, відповідно, знижує ефективність руйнування внаслідок розпорошення зусиль у радіальному напрямку [4]. Нами запропоновано армування шпурів елементами певної конфігурації, які забезпечують концентрування зусиль розширення НРС в оптимальному напрямку. Армувальні елементи свердловин мають форму циліндричного тіла, яке у поперечному перерізі утворює замкнуту форму, складену з двох параболічних обрисів. Піддатливість армування досягається за рахунок зони накладання параболічних елементів у місцях перетину з коротким діаметром параболічного циліндра.

Розташування армувального циліндра напрямком довгого діаметра в свердловині повинно відповідати або бути паралельним до напрямку перпендикуляра до площини відслонення цілика. У цьому випадку утворення монощільни, яка «перерізає» цілик по вертикальній проекції, забезпечує зникнення зони опорного тиску під ціликом.

Концентрування зусиль розширення НРС досягається наданням максимальної кривизни елементам армування в напрямку утворення площини руйнування, оскільки розподіл радіальних зусиль розширення НРС при взаємодії з поверхнею армувального елемента відповідає формулі

$$F_x = F \cos \alpha, \quad (1)$$

де F_x – нормальне зусилля на зовнішній поверхні армувального елемента; F – радіальне зусилля розширення НРС; α – кут між радіальним напрямком і дотичною до поверхні армування.

Рівень виникаючих зусиль визначається кривизною поверхні армування відповідно до кута α , який у напрямку концентрації навантажень прямує до мінімальних значень, а відповідно до $\cos \alpha$ – до одиниці. Тим самим інтегруючи

зусилля перерозподіляються у заданому напрямку, причому еюра зусиль для параболічної поверхні має більший ступінь концентрації зусиль у порівнянні з поверхнею кола.

Використанням рівнянь [5]

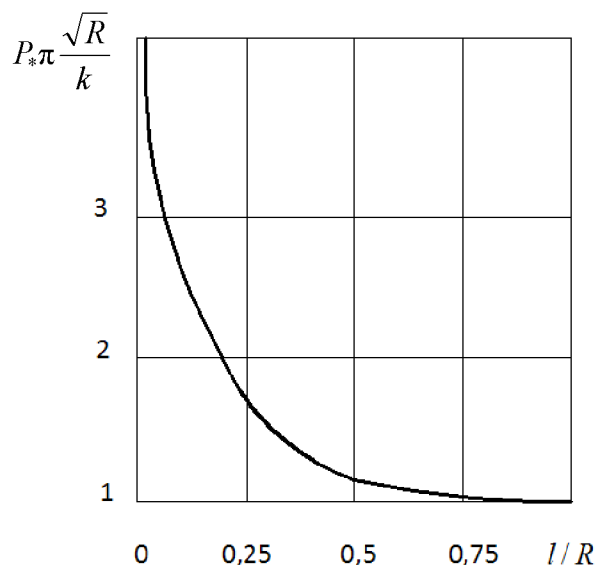
$$P_* \pi \frac{\sqrt{R}}{k} = \frac{\sqrt{2}}{f_1(\epsilon) \sqrt{1+\epsilon}} = f\left(\frac{l}{R}\right), \quad (2)$$

де P_* – напруження в шпурі; R – радіус шпура; k – коефіцієнт, що характеризує міцнісні властивості породи; ϵ – критичне напруження; l – довжина концентратора, а

$$f_1(\epsilon) = \frac{\pi}{2} \left[1 - \frac{2}{\pi} \arctg \frac{1}{\sqrt{2\epsilon + \epsilon^2}} + \frac{2}{\pi} \frac{\sqrt{2\epsilon + \epsilon^2}}{(1+\epsilon)^2} \right], \quad (3)$$

отримаємо залежність критичного напруження від довжини концентратора (рисунок). З аналізу графіка випливає, що при зростанні довжини концентратора критичне навантаження руйнування зменшується особливо інтенсивно при $l/R = 0,25$, тобто при $R = 2$ см, що найчастіше застосовується на практиці.

Подальше збільшення довжини концентратора зменшує критичний тиск руйнування, але повільно. Звідси випливає важливий для практики висновок про те, що ефективна довжина концентратора повинна становити не менш ніж $0,25R$.



Залежність критичного напруження від довжини концентратора

Якщо рівень тиску, розвинутого в шпурі, недостатній для руйнування порід, то наявність концентраторів напружень у вигляді надрізів на стінках шпурів викликає руйнування порід у зазначених умовах. Крім того, концентратори забезпечують руйнування порід при зниженому тиску і створюють умови руйнування в заданому напрямку.

Вплив концентраторів напружень необхідно пов'язати з розподілом напружень навколо тріщини. Розподіл напружень навколо отвору можна визначити за формулою (1). Відносне збільшення напруження на контурі отвору в порівнянні з напруженням без концентратора дає збільшення руйнування за рахунок концентратора. Це пояснюється тим, що наявність концентратора визначає геометричний напрямок штучного послаблення в породі. Збільшення довжини тріщини за рахунок наявності концентраторів при такому припущенні залежатиме від геометричних розмірів отворів та надрізів. Використовуючи формулу (4), визначимо у відсотковому відношенні збільшення зони тріщиноутворення за рахунок використання концентраторів різної довжини.

Відносні зміни напружень у порівнянні з напруженнями на контурі визначаємо за формулою

$$m = \frac{2 - \left[l + \left(\frac{R}{R+l} \right)^2 \right]}{2} 100 \% . \quad (4)$$

Для шпурів радіусом 20, 30 та 40 мм та довжини концентраторів 1, 2, 3, 4 і 5 мм виконані розрахунки, результати яких наведені в таблиці.

$l, \text{ мм}$	1	2	3	4	5
$R, \text{ мм}$					
20	5 %	9 %	12,2 %	15,3 %	18 %
30	3,2 %	6,1 %	8,7 %	11,1 %	13,3 %
40	2,4 %	4,7 %	6,8 %	8,7 %	10,5 %

Наведені в таблиці дані свідчать про те, що збільшення довжини концентратора на кілька міліметрів викликає значне збільшення довжини тріщини (на 10 % і більше). При збільшенні радіуса шпура ефективна довжина концентратора має тенденцію до збільшення.

Таким чином, наявність концентраторів довжиною лише 5 мм дає змогу збільшити відстань між шпурами на 20...36 % для шпурів радіусом відповідно 40...20 мм, що дозволяє значно скоротити трудомісткість буріння шпурів без зниження якості виконання робіт.

Технічна реалізація способу передбачає буріння шпурів у цілику, монтаж армувальних елементів у шпурі, забутовування вільного простору твердими породами, заповнення внутрішнього об'єму НРС. Спрацьовування НРС визначається появою тріщин на боковій поверхні цілика.

Висновки. Проведений аналіз відомих способів дозволив вибрати спосіб руйнування ціликів, який відповідає умовам ліквідації зони опорного тиску. Застосування циліндричних елементів армування дозволило отримати розподіл

зовнішніх зусиль, який дозволяє концентрувати навантаження в напрямку заданого руйнування.

Виявлено, що при збільшенні довжини концентратора напружень критичне навантаження зменшується. Обґрунтовано ефективну довжину концентратора напружень, яка має становити не менш ніж 0,25 радіуса шпура. Наявність концентраторів напружень дозволяє збільшити відстань між шпурами на 20...36 %.

Реалізація способу ліквідації негативного впливу залишених ціликів дозволяє виключити застосування ручної праці в небезпечних умовах при розробці ціликів.

1. *Зубов В. П.* Вплив підривань на витискання порід в підготовчих виробках / В. П. Зубов, Л. Н. Чернышков, К. Н. Лазченко // Уголь Украины. – 1985. – № 7. – С. 15–16.

2. *Черняк И. Л.* Предотвращение пучения почвы горных выработок. – М.: Недра, 1978. – 238 с.

3. *Шмиголь А. В.* Опыт использования податливой арочной крепи с удлиненной стойкой / А. В. Шмиголь, Б. Г. Данилов, Ю. М. Халимендик / Донецк: ЦБНТИ Минуглепрома УССР, 1984.

4. *Карасев Ю. Г.* Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – Учебное пособие / Ю. Г. Карасев, Н. Т. Бакка. – СПб: Санкт-Петербургский горный институт, 1997. – 428 с.

5. *Ткачук К. К.* Разработка эффективных методов добычи гранитных блоков: дис.... докт. техн. наук: 05.15.03 / Ткачук Константин Константинович. – Кривой Рог, 1995. – 357 с.