

УДК 622.281.406: 539.3

<https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.005>

**ПРО СТІЙКІСТЬ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК, ЩО ПІДТРИМУЮТЬСЯ
АРМОПОРІДНИМИ ОБОЛОНКАМИ, В НАПРУЖЕНОМУ
ПОРІДНОМУ МАСИВІ**

С.В. Тинина^{1*}

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: e-mail: haritonroots@gmail.com

**ABOUT THE STABILITY OF MINING PRODUCTS SUPPORTED BY
ARMO-BREED SHELLS IN A STRESSED ROCK MASS**

S.V. Tynyna^{1*}

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: haritonroots@gmail.com

ABSTRACT

Purpose. The development of the Donbass coal mining industry leads to the transition of mining operations to ever deeper horizons. Thus, the problem of developing methods for securing and maintaining mine workings in the deep mines of Donbass is becoming more and more urgent.

Methods. The analysis of changes in the state of the rock mass, which occurred when the equilibrium was disturbed and the transition into motion of the boundaries of zones of different deformation of rocks due to the stress gradient (the presence of voids between the anchorage and the rock mass), is presented. Mine instrumental observations have established that the formation of destruction zones near capital, preparatory and production workings is of a temporary nature, develops abruptly and occurs along cracks parallel to the inner surface of the workings.

Findings. The necessity of applying additional measures to increase the bearing capacity of the support has been substantiated.

Originality. It is shown that when there is an excess of energy, it is recognized on the basis of the array, as well as it is injected onto the surplus of the process.

Practical implications. Analysis of the kinetics of destroyed rocks near open surfaces showed that, taking into account the disturbance of the rock mass near them, in order to limit its development during the operation of workings, it is necessary to solve in a complex the issues of rational involvement in the work of fixing the zone of disturbed rocks around the workings.

Keywords: coal mining, mining, deep horizons, development of methods of fastening, support of mine workings, the state of the massif, zones of various deformation of rocks, stress gradient, fastening of the zone of disturbed rocks

1. ВСТУП

Розвиток в останні десятиліття вугледобувної промисловості Донбасу призводить до переходу гірничих робіт на усе глибші горизонти, що не дозволяє в повній мірі використовувати загальноприйняті геомеханічні аспекти охорони виробок. А відомі в даний час конструкції кріплень, маючи обмежену несучу здатність, не в змозі протистояти підвищеному гірському тиску. Як наслідок, обсяги перекріплення магістральних підготовчих виробок на вугледобувних шахтах Донбасу зросли до 3000 м на рік, а річні фінансові витрати на перекріплення виробок по кожній шахті досягають до 1200000–1500000 грн.

В силу цих причин проблема розробки способів кріплення та підтримки гірничих виробок в умовах глибоких шахт Донбасу стає все більш актуальною.

Оцінюючи в цілому досвід робіт і результати досліджень стійкості підготовчих виробок, слід зазначити підвищену увагу до цієї проблеми і, як наслідок, збільшення числа робіт, присвячених пошуку ефективних рішень в напрямку, пов'язаному з управлінням і використанням залишкової несучої здатності порушеного породного масиву.

2. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Досить повний аналіз результатів досліджень із зазначеної проблеми наведено в монографіях Ю.З. Заславського [1] і А.П. Максимова [2].

В останні роки намітилася прогресивна тенденція використання несучої здатності масиву для охорони капітальних і підготовчих виробок шляхом спрямованої зміни його стану і властивостей. Це реалізується за рахунок різних способів, що забезпечують зменшення матеріалоемності кріплень.

Найбільш перспективним залишається напрямок підвищення стійкості виробок за допомогою зміцнення приконтурного породного масиву і залучення його в процес протидії гірському тиску. Досвід експлуатації магістральних підготовчих виробок показав, що в умовах глибоких шахт Донбасу ефективним способом підвищення стійкості виробок є утворення в приконтурній зоні виробок армопородних оболонок в комбінації з анкерним кріпленням.

У зв'язку з цим підвищення стійкості виробок шляхом утворення армопородних оболонок в умовах глибоких горизонтів шахт є актуальною науковою задачею, що має важливе значення для вуглевидобувної галузі України.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним з основних напрямків при вирішенні проблем геомеханіки є аналітичні дослідження на основі відповідної моделі масиву гірничих порід, схильного до технологічного впливу [3, 4].

Математичне моделювання передбачає схематизацію реального шаруватого процесу в гірничому масиві, в основу якої покладено виділення і аналі-

тичний опис основних параметрів, що визначають поведінку породного масиву, схильного технологічного впливу. Нижче розглядається питання про математичне моделювання напружено-деформованого стану армопородних утворень в процесі експлуатації гірничих виробок.

Шахтними інструментальними спостереженнями встановлено [5-11], що утворення зон руйнування поблизу капітальних, підготовчих і очисних виробок носить часовий характер, розвивається стрипкоподібно і відбувається по тріщинах, паралельних внутрішній поверхні виробки.

Його динаміка являє собою складний багатоетапний процес, оцінка та опис якого здійснювалася, як правило, в рамках одновимірної задачі деформованого середовища. Кінетика руйнування являє собою складний процес, для оцінки і опису якого силових критеріїв недостатньо, а статика енергетичних перетворень не відображає повністю механіки явищ, що відбуваються. Для цього необхідний облік кінетичних параметрів деформування і розвитку руйнувань, пов'язаних зі зміною напруженості і дефектності середовища.

Розглянувши рух кордону руйнування в напруженому середовищі від вільної або підкріпленої поверхні в квазідинамічному режимі відповідно до моделі В.Н. Миколаївського [8] про рух хвилі двохфронтальної структури з замиканням основних рівнянь умовами на фронтах по граничній швидкості руху і міцності матеріалу при розриві-зсуві, отримуємо аналітичну залежність, що зв'язує підкріплення порід з боку вільної поверхні з початковими напруженнями, їх зміною, кінетичними та силовими параметрами руху межі руйнування [9]

$$P \geq \sigma_n - \sigma_0 + (\gamma H + \nu_p \rho - \sigma) \frac{0,3\rho + \gamma H - \sigma}{\rho + \gamma H - \sigma}, \quad (1)$$

де ρ_0 – щільність порід; ν_p – швидкість руху фронту руйнування; $\sigma_0 = \gamma H$, σ_n , σ_p – відповідно напруги поза зоною впливу вільної підкріпленої поверхні, в зоні пластичного деформування і в зоні руйнування (визначаються за [7]); P – зусилля підкріплення.

Залежність (1) дозволяє виконати розрахунок стійкості гірничих виробок при підтримці їх в напруженому породному масиві в процесі будівництва і експлуатації за рахунок обмеження в приконтурній області.

Так розрахунок параметрів за (1) в діапазоні значень, що варіюються: $\sigma_c = 10 \div 70$ МПа, $\sigma_{ост} = 1,7 \div 7,2$ МПа, $M/E = 2$, $\gamma H = 20$, $\rho = 2,5$ т/м³, $c = 1,5$ км/с, $\nu_p = 0,35 \cdot 10^{-7}$ м/с дозволяє провести розрахунок зміни відсічі кріплення в залежності від міцності породи гірського тиску.

Результати розрахунку представлені у вигляді залежності зміни відсічі кріплення від основних факторів, що впливають (рис. 1). Зміни відсічі кріплення від характеристик залишкової міцності і відношення модуля пружності до модулю спаду зображені на рис. 2.

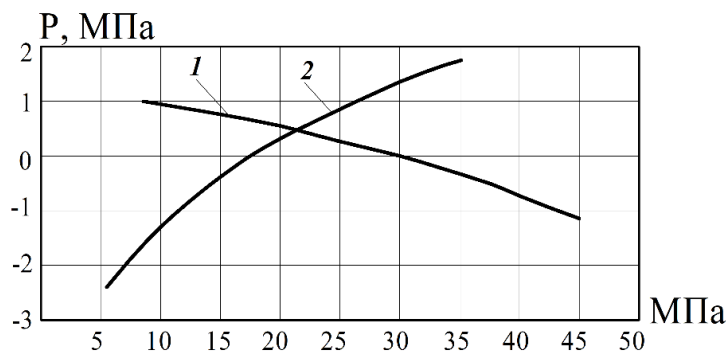


Рисунок 1. Зміна відсічі кріплення в залежності від міцності порід (1) і гірського тиску (2)

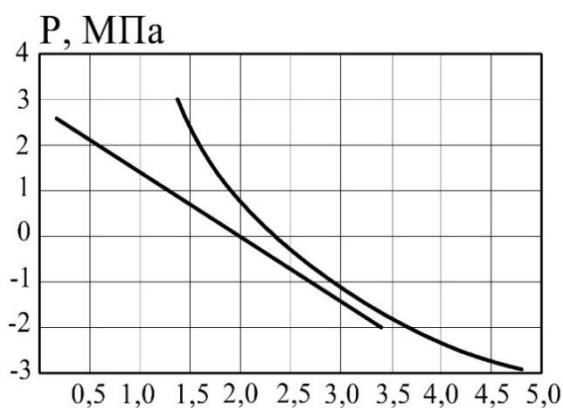


Рисунок 2. Закономірності зміни відсічі кріплення від характеристик залишкової міцності (1) і відносини модуля пружності до модуля спаду (2)

Аналіз змін в стані масиву, що сталися при порушенні рівноваги і переходу в рух межі зон різного деформування порід за рахунок градієнта напружень (наявність пустот між кріпленням і масивом, прослизання в замках, руйнування тампонажної оболонки, усадка системи «тампонажний камінь - масив», втрата стійкості кріплення і т.п.), показав (рис. 1), що відсіч кріплення (знак мінус вказує на дію в напрямку, протилежному руху порід) в умовах порід, що руйнуються, для обмеження руйнування при малій міцності і невеликих глибинах повинен бути збільшений. При великій міцності гірничих порід і високому гірському тиску може бути зменшений за рахунок формування зони зруйнованих порід, яка може бути використана як податливий ущільнюючий елемент.

При $P > -1$ слід при підтримці виробок застосовувати додаткові заходи щодо збільшення несучої здатності кріплення. Залежності, представлені на рис. 2, показують, що руйнування порід при їх залишковій міцності також позначається на стійкості масиву – зі збільшенням залишкової міцності відсіч кріплення збільшується.

Аналогічний висновок впливає і з закономірності зв'язку відсічі кріплення з властивостями порід, зокрема, відношення модуля пружності до модуля спаду, що характеризує пружні і непружні властивості порід: зі збільшенням крихкості порід відсіч кріплення збільшується.

4. ВИСНОВКИ

Таким чином, аналіз кінетики зруйнованих порід поблизу відкритих поверхонь показав, що з урахуванням порушеності породного масиву поблизу них для обмеження його розвитку при експлуатації виробок необхідно в комплексі вирішувати питання раціонального залучення в роботу кріплення зони порушених порід навколо виробок.

Разом з тим слід зазначити, що одномірна модель породного масиву, що містить вироблення, дозволяє з'ясувати характер основних закономірностей лише в разі симетричного напружено-деформованого стану масиву гірничих порід.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Заславский Ю.З., Лопухин А.А., Дружко Е.Б. (1984). *Инъекционное упрочнение горных пород*. М.: Недра, Москва. 176 с.
2. Максимов А.П., Евтушенко В.В. (1994). *Тампонаж горных пород*. М.: Недра, Москва. 176 с.
3. Кузнецов Г.Н., Будько М.Н., Васильев Ю.И., Шклярский М.Ф., Юревич Г.Г. (1968). *Моделирование проявлений горного давления*. Л.: Недра, Ленинград. 280 с.
4. Насонов И.Д. (1969). *Моделирование горных процессов*. М.: Недра, Москва. 204 с.
5. Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Шмиголь А.В. (1992). *Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса*. М.: Недра, Москва. 167 с.
6. Тынына С.В., Булат А.Ф., Софийский К.К., Бокий Б.В., Шейко А.В., Агаев А.Р. (2016). *Управление аэрологическими и геомеханическими процессами в угольных шахтах*. Мариуполь: ООО «Східний видавничій дім». 300 с.
7. Софийский К.К., Стасевич Р.К., Бокий Б.В. и др. (2016). *Безопасность и эффективность метаноугольных шахт*. Киев: ФЛП Халиков Р.Х. 308 с.
8. Тынына С.В., Малич Н.Г., Васильев Д.Л., Усов О.А. (2020). Построение математической модели прочности горных пород при сжатии с учетом контактного трения. *Системні технології. System technologies*, 6(131), 94–06.
9. Колесников В.Г., Левченко Г.В. (2002). Кинетика и механизм разрушения пород вблизи обнажений. *Геотехническая механика*, (21), 83–86.
10. Колесников В.Г. Левченко В.Г. (2001). Кинетика разрушения пород в приконтурной области. *Геотехническая механика*, (27), 36–41.
11. Николаевский В.Н. (1981). О разрушении вязкоупругих тел. *Прикладная математика и механика*, 45(6), 1121–1128.

REFERENCES

1. Zaslavskiy YU.Z., Lopukhin A.A., Druzhko Ye.B. (1984). *Inyeksionnoye uprochneniye gornyykh porod*. M.: Nedra, Moskva. 176 s.
2. Maksimov A.P., Yevtushenko V.V. (1994). *Tamponazh gornyykh porod*. M.: Nedra, Moskva. 176 s.
3. Kuznetsov G.N., Budko M.N., Vasilyev YU.I., Shklyarskiy M.F., Yurevich G.G (1968). *Modelirovaniye proyavleniy gornogo davleniya*. L.: Nedra, Leningrad. 280 s.
4. Nasonov I.D. (1969). *Modelirovaniye gornyykh protsessov*. M.: Nedra, Moskva. 204 s.
5. Usachenko B.M., Kirichenko V.YA., Shmigol A.V. (1992). *Okhrana podgotovitelnykh vyrabotok glubokikh gorizontov shakht Zapadnogo Donbassa*. M.: Nedra, Moskva. 167 s.
6. Tynyna S.V., Bulat A.F., Sofiiskii K.K., Bokii B.V., Sheiko A.V., Agaev A.R. (2016). *Upravlenie aehrologicheskimi i geomekhanicheskimi protsessami v ugolnykh shakhtakh*. Mariupol: ООО «Skhidnyi vydavnychiy dim». 300 s.
7. Sofiiskii K.K., Stasevich R.K., Bokii B.V. i dr. (2016). *Bezopasnost i ehffektivnost metanougolnykh shakht*. Kiev: FLP Khalikov R.KH. 308 s.
8. Tynyna S.V., Malich N.G., Vasilev D.L., Usov O.A. (2020). Postroenie matematicheskoi modeli prochnosti gornyykh porod pri szhatii s uchetom kontaktnogo treniia. *Systemni tekhnolohii. System technologies*, 6(131), 94–106.
9. Kolesnikov V.G., Levchenko G.V. (2000). Kinetika i mekhanizm razrusheniya porod vblizi obnazheniy. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, (21), 83–86.
10. Kolesnikov V.G., Levchenko V.G. (2001). Kinetika razrusheniya porod v prikonturnoy oblasti. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, (27), 36–41.
11. Nikolayevskiy V.N. (1981). O razrushenii vyazkouprugikh tel. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 45(6), 1121–1128.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Розвиток вугледобувної промисловості Донбасу призводить до переходу гірничих робіт на усе глибші горизонти. Таким чином, проблема розробки способів кріплення та підтримки гірничих виробок в умовах глибоких шахт Донбасу стає все більш актуальною.

Методика. Наведено аналіз змін в стані масиву, що сталися при порушенні рівноваги і переходу в рух межі зон різного деформування порід за рахунок градієнта напружень (наявність пустот між кріпленням і масивом). Шахтними інструментальними спостереженнями встановлено, що утворення зон руйнування поблизу капітальних, підготовчих і очисних виробок носить часовий характер, розвивається стрипкоподібно і відбувається по тріщинах, паралельних внутрішній поверхні виробки.

Результати. Обґрунтовано необхідність застосування додаткових заходів щодо збільшення несучої здатності кріплення.

Наукова новизна. Показано, що руйнування порід при їх залишковій міцності позначається на стійкості масиву, а також її вплив на залишкову міцність відсічі кріплення.

Практична значимість. Аналіз кінетики зруйнованих порід поблизу відкритих поверхонь показав, що з урахуванням порушеності породного масиву поблизу них для обмеження його розвитку при експлуатації виробок необхідно

в комплексі вирішувати питання раціонального залучення в роботу кріплення зони порушених порід навколо виробок.

Ключові слова: вугледобувна промисловість, гірничі роботи, глибші горизонти, розробка способів кріплення, підтримка гірничих виробок, стан масиву, зона різного деформування порід, градієнт напружень, кріплення зони порушених порід

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Развитие угледобывающей промышленности Донбасса приводит к переходу горных работ на все более глубокие горизонты. Таким образом, проблема разработки способов крепления и поддержания горных выработок в условиях глубоких шахт Донбасса становится все более актуальной.

Методика. Приведен анализ изменений в состоянии массива, произошедших при нарушении равновесия и перехода в движение границы зон различного деформирования пород за счет градиента напряжений (наличие пустот между креплением и массивом). Шахтными инструментальными наблюдениями установлено, что образование зон разрушения вблизи капитальных, подготовительных и очистных выработок носит временной характер, развивается скачкообразно и происходит по трещинам, параллельных внутренней поверхности выработки.

Результаты. Обоснована необходимость применения дополнительных мер по увеличению несущей способности крепи.

Научная новизна. Показано, что разрушение пород при их остаточной прочности сказывается на устойчивости массива, а также ее влияние на остаточную прочность отпора крепления.

Практическая значимость. Анализ кинетики разрушенных пород вблизи открытых поверхностей показал, что с учетом нарушенности породного массива вблизи них для ограничения его развития при эксплуатации выработок необходимо в комплексе решать вопросы рационального вовлечения в работу крепления зоны нарушенных пород вокруг выработок.

Ключевые слова: угледобывающая промышленность, горные работы, глубокие горизонты, разработка способов крепления, поддержка горных выработок, состояние массива, зона различного деформирования пород, градиент напряжений, крепления зоны нарушенных пород

ABOUT AUTHORS

Tynyna Serhii, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine, Senior Researcher of the Department of Mechanics of Elastomeric Structures of Mining Machines, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: haritonroots@gmail.com