

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН У ГІРНИЧІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ЇХ РАЦІОНАЛЬНІСТЬ

**В. Д. Кулинич**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: vikulsija@gmail.com

Проведено аналіз існуючих методів використання поверхнево-активних речовин у гірничій промисловості та їх раціональність. Наведено основні напрямки застосування та визначено перспективи подальших наукових розробок. Численні дослідження підтверджують ефективність використання поверхнево-активних речовин для зміни характеристик міцності розроблювального масиву без вибухового впливу, проте існує потреба у дослідженні їх впливу при імпульсних навантаженнях, особливо що стосується міцних скельних порід.

**Ключові слова:** поверхнево-активні речовини, гірничча промисловість, ефект Ребіндера, адсорбційне зниження міцності твердих тіл.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОСТЬ

**В. Д. Кулинич**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина.

E-mail: vikulsija@gmail.com

Проведен анализ существующих методов использования поверхностно-активных веществ в горной промышленности и их рациональность. Приведены основные направления применения и определены перспективы дальнейших научных разработок. Многочисленные исследования подтверждают эффективность использования поверхностно-активных веществ для изменения прочностных характеристик разрабатываемого массива без взрывного воздействия, однако существует потребность в исследовании их влияния при импульсных нагрузках, особенно, что касается крепких скальных пород.

**Ключевые слова:** поверхностно-активные вещества, горная промышленность, эффект Ребіндера, адсорбционное снижение прочности твердых тел.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Гірничодобувна промисловість є важливою галуззю економіки України, яка забезпечує понад 60 % валютних надходжень до державного бюджету [1]. І провідне місце в її розвитку займають буровибухові роботи. В останні роки з'явилась тенденція не тільки до зміни конструкцій заряду чи розробки рекомендацій раціонального ведення буровибухових робіт, проте увага значною мірою приділяється до врахування властивостей самої гірської породи і можливостей ними керувати, прогнозуючи та задаючи потрібні параметри для подальшої екскавації та обробки.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Перспективним засобом впливу на міцнісні властивості гірських порід є використання поверхнево-активних речовин (ПАР), дія яких заснована на адсорбційному зниженні поверхневої енергії тіл (ефект Ребіндера) [2, 3]. Поверхнево-активні речовини давно і успішно використовуються в найрізноманітніших областях промислового виробництва [4, 5]. Однак, не дивлячись на очевидну ефективність їх застосування, широкого поширення в гірській практиці вони не отримали через недостатній рівень теоретичних і методологічних основ. Відомі лише нечисленні роботи в цьому напрямку, що намітили основні підходи до вирішення даного питання, які потребують подальшого розвитку [6–9].

Адсорбційне зниження міцності твердих тіл, полегшення деформації і їх руйнування проявляється внаслідок оборотного фізико-хімічного впливу ПАР [5] і, скоріш за все, при контакті твердого тіла, що знаходиться в напруженому стані, з рідким (або газовим) адсорбційно-активним середовищем. В роботі [10] відзначено, що основна умова надання такої дії - родинний характер контактуючих фаз (твердого тіла і ПАР) за хімічним складом і будовою. Форма і ступінь прояву ефекту Ребіндера залежать від інтенсивності міжмолекулярних (міжмолекулярних) взаємодій дотичних фаз, величини і типу напружень, швидкості деформації, температури. Істотну роль грає реальна структура тіла - наявність дислокацій, тріщин, сторонніх включень і ін. Характерна форма прояву ефекту Ребіндера - підвищення крихкості твердого тіла, багаторазове зниження його міцності і довговічності, іноді - пластифікуюча дія середовища на тверді матеріали.

Якщо брати до уваги хімічну сторону питання, будь-яка речовина у вигляді компонента рідкого розчину або газу (пара) при відповідних умовах може проявити поверхневу активність, тобто адсорбуватись під дією міжмолекулярних сил на тій чи іншій поверхні, знижуючи її вільну енергію. Однак поверхнево-активними зазвичай називаються лише ті речовини, адсорбція яких з розчинів вже при досить малих концентраціях (десяті і соті частки %) призводить до різкого зниження поверхневого натягу. Тобто доцільним являється все ж дослідження та аналіз складу ПАР, що вже застосовуються у гірничодобувній промисловості.

Враховуючи вищезазначене було сформовано мету роботи, яка полягає у дослідженні впливу існуючих розчинів поверхнево-активних речовин на технологічні властивості гірських порід та способів їх використання при буровибухових роботах.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Потрібно зазначити, що якість руйнування гірських порід залежить від їх фізико-механічних властивостей, на які впливають структура, обводненість і т.д. В обводнених породах присутні солі, які можуть впливати на міцність порід завдяки ефекту Ребіндера. У природних умовах ефект зміни властивостей порід носить неконтрольований і навіть випадковий характер. Керований вплив на зміну міцності можливий за рахунок регулювання у водних розчинах концентрації і типів ПАР. Слід пам'ятати, що тріщинуватість є одним з головних показників порід, що визначають організацію гірничо-технічного виробництва. Це важливо враховувати при оцінці та прогнозуванні фізико-механічних властивостей гірських порід.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Згідно з теорією Гріффітса [11], тріщина в середовищі лавиноподібно зростає, якщо швидкість звільнення енергії пружною деформації вище приросту її поверхневої енергії, що дозволяє розрахувати критичні значення руйнівних напружень для плоского напруженого стану:

$$\sigma_{кр.н.} = \sqrt{\frac{2E\gamma_n}{\pi l}}, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль поздовжньої пружності, Па;  $\gamma_n$  – питома робота пластичної деформації на утворення одиниці нової поверхні тріщини, Дж/м<sup>2</sup>;  $l$  – довжина мікротріщини, м.

Як видно з формули (1) міцність матеріалу залежить від вільної поверхневої енергії. Її значення можна змінювати за допомогою додавання ПАР, які сорбуються на поверхні мінералів, або хімічно з ними взаємодіють. Величина питомої поверхневої енергії підвищується, якщо в результаті розчинення зменшується гострота тріщини, і тоді міцність тіла зростає. Якщо ж середовище утворює з твердим тілом міцні комплексні сполуки, які як місток стягують вершину тріщини, її гострота збільшується, а міцність твердого тіла знижується [12].

Дія середовища досить різноманітна і залежить від багатьох факторів, серед яких важливе значення мають співвідношення кількості і розмірів внутрішніх і поверхневих дефектів. Тому одна і та ж середовище в однакових умовах може надавати різну дію [13].

Автори [1, 13, 14] розглядають механізм дії ПАР наступним чином: нехай в двофазну систему тверде тіло – рідина/газ буде введена деяка речовина, розчинна у рідині/газі. Тоді розчинена речовина неодмінно кинеться до поверхні розділу фаз за умови зниження поверхневої енергії. Цей ефект базується на основі другого закону термодинаміки.

Рівняння, що зв'язує величину адсорбції (надлишок розчиненої речовини на поверхні в порівнянні з середньою концентрацією) і викликане нею зниження поверхневої енергії розділу фаз має вигляд:

$$-\frac{\partial \Delta\omega}{\partial c} = \frac{RT}{c} \Gamma, \quad (2)$$

де  $\Delta\omega$  – зниження вільної енергії одиниці поверхні розділу фаз;  $c$  – рівноважна концентрація ПАР в об'ємі рідини (газу), моль·дм<sup>-3</sup>;  $R$  – універсальна газова постійна, Дж·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $T$  – абсолютна температура, К;  $\Gamma$  – адсорбція Гіббса, моль·м<sup>-2</sup>.

Проінтегрувавши рівняння (2) від 0 до  $c$ , отримаємо:

$$\Delta\omega = \omega(0) - \omega(c) = RT \int_0^c \Gamma(c) d \ln c. \quad (3)$$

Рівняння (3) можна співставити з рівнянням Ленгмюра [14] і вивести залежність, що буде вказувати на наявність тиску мономолекулярного шару ПАР, який викликала адсорбція, при цьому молекули прагнуть поширитися по поверхні фаз.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

У ряді робіт доведено [13, 15], що обробка гірських порід спеціально підібраними розчинами ПАР призводить до значного (до 50%) зниження їх міцності, зменшення межі міцності і модуля пружності, появи помітної пластичної деформації. Отримані співвідношення дозволяють кількісно оцінити ці явища в залежності від рівня діючих напружень. Дія поверхнево-активного середовища супроводжується зростанням деформації повзучості гірських порід від двох до семи раз. При цьому чітко виділяються дві стадії повзучості: перша стадія обумовлена класичним механізмом міжзернового ковзання; друга стадія повзучості проявляється тільки при дії ПАР і характеризується процесом зростання тріщин (що саморозвиваються) в гірських породах.

Необхідно зазначити, що великий вплив на характер тріщиноутворення має хімічний склад ПАР та його концентрація.

Автори [15] пропонують використовувати ПАР при бурінні у якості промивної рідини. При чому, ведеться дослідження різних видів речовини:

- аніоноактивні ПАР - лаурилсульфат натрію і лінійний алкілбензолсульфонат натрію (ЛАБС натрію);
- катіоноактивні ПАР - катамін-АБ;
- неіоногенні ПАР - ОП-7.

Встановлено, що при бурінні глибоких свердловин, значна частина мікротріщин, що утворюються на вибої, після зняття навантаження закриваються під дією не тільки молекулярних сил зчеплення, але і під дією пригнічуючого тиску бурового розчину. Вплив такого тиску на забій збільшується з глибиною і безпосередньо пов'язаний з щільністю бурового розчину, тому необхідно прагнути до зниження щільності бурових розчинів, наприклад шляхом використання безглинистих промивних рідин, стабілізованих різними типами полімерів з добавками поверхнево-активних речовин. Проте використання ПАР у складі бурового розчину не дає багатьох можливостей стосовно питання саме керування міцнісними характеристиками.

Відомо [16], що розчини ПАР (алюмосульфунафтен, акрилсульфат) використовують у складі тампонажних розчинів на основі вяжучих цементів для зміцнення тріщинуватих і закарстованих порід. Такі розчини є стійкими у статичному та динамічному станах. При цьому, вплив ПАР на міцність не враховується.

В роботі [17] при дослідженні закономірностей впливу ПАР на властивості і стан гірських порід для прогнозування та управління якістю їх дроблення з урахуванням глибокої аналогії процесів руйнування порід ударом і вибухом використовували 0,5 % розчини  $AlCl_3$ ,  $MgCl_2$ ,  $Na_2CO_3$ . Основні експерименти проводились на ударному копрі. Внаслідок комплексних досліджень розроблено методику вибору ПАР, яка дозволяє надійно встановлювати найбільш ефективні розчини для підвищення якості дроблення гірських порід. Сукупність виконаних досліджень показує, що стосовно міцним скельним породам використання спеціально підібраних розчинів ПАР істотно підвищує якість дроблення міцних скельних порід (експериментальні дослідження в основному виконувались на гранітних моделях). Розроблена система прогнозування дозволяє апріорі оцінювати результати дії ПАР. Але, незважаючи на те, що автор зазначає, що отримані

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

показники корисні для дроблення ударом та вибухом, проте все ж таки основна увага приділяється удару. При цьому використання таких розчинів ПАР при веденні буро вибухових робіт (БВР) не розглянуті достатньою мірою і потребують подальшого вивчення.

Важливим аспектом є те, що в дослідженнях не враховується екологічний аспект. Проте, якщо, наприклад, до складу бурових сумішей чи розчинів для обробки гірських порід увійдуть синтетичні ПАВ, то це матиме значний вплив на оточуюче середовище, адже потрапляючи у водянні об'єкти, синтетичні речовини знижують їх здатність насичатись киснем, ведуть до евтрофікації (старіння) водних об'єктів.

Збільшення загальної тріщинуватості порід, насичених розчинами ПАР, обумовлено двома факторами [13] - зростанням вже існуючих тріщин і зародженням нових мікротріщин. Концентрація зазначених тріщин описується різними законами розподілу (логарифмічно лінійним і розподілом Вейбулла), що свідчить про відмінність в фізичних механізмах цих процесів. Аналітична оцінка дії ПАР з позицій теорії тріщин Гриффітса і кінетичної концепції міцності дозволила отримати співвідношення, що є основою прогнозування стану гірських порід, їх питомої поверхневої енергії і тріщиностійкості з урахуванням фрактальних властивостей тріщинуватої гірської породи як природної структури, що стало основою для розробки алгоритмів і комп'ютерних програм [11, 13]. Встановлено, що зниження міцності породи при дії ПАР призводить до зменшення енергоємності її руйнування і до збільшення продуктивності машин. Проте важливо підібрати такі розчини ПАР, які б були прийнятні для конкретних видів гірських робіт з урахуванням екологічних аспектів.

**ВИСНОВКИ.** Численні дослідження підтверджують ефективність використання ПАР для зміни характеристик міцності розроблювального масиву без вибухового впливу. Відповідно до отриманих результатів актуальним питанням для видобутку скельних порід є застосування ПАР в комплексі з імпульсними навантаженнями, а також необхідно встановити вплив ПАР різної природи на енергетичні витрати переробки мінеральної сировини, їх концентрацію та обсяги в свердловинах і шпурах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Інтернет-ресурс <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/336117.html>
2. Vorobyov V., Pomazan M., Shlyk S., Vorobyova L. (2017), "Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 1(87), pp. 53–62, ISSN 1729-4061.
3. Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.И. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение. Л.: Химия, 1988. 200 с.
4. Долударєва Я.С., Леміжанська В.Д., Козловська Т.Ф., Комір А.І. Вплив поверхнево-активних речовин у зоні руйнування гірських порід на інтенсивність дроблення під дією імпульсних навантажень. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2012. № 4(130). С. 93–97.

5. Сынбулатов В.В. Направленное изменение деформационных характеристик горных пород поверхностно-активными веществами. *Материалы Уральского горнопромышленной декады 4-14 апреля 2005*. Екатеринбург: УН У, 2005 г. С. 19–20.
6. Обработка выбросоопасных пластов водными растворами ПАВ. Алексеев А.Д., Стариков Г.П., Малюга М.Ф., Аносов О.С. Киев.: Тэх-ника, 1988. 86 с.
7. Латышев О.Г. Использование поверхностно-активных веществ в процессах горного производства. *Известия Уральского государственной горногеологической академии. Сер. Горное дело*. 2000. Вып. 11. С. 153–159.
8. Перцов Н.В. Механизм действия поверхностно-активных веществ при разрушении материалов. *Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем*. Киев: Наукова думка, 1986. Вып. 18. С. 5–11.
9. Поверхностно-активные вещества как дестабилизаторы упруго-пластических свойств горных пород. В.Д. Кулинич, Я.С. Долударева, В.Н. Долударев, Т.Ф. Козловская. *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник*. Кременчук: КрНУ, 2013. Вип. 2(12). С. 11–20.
10. Ребиндер П.А. Взаимосвязь поверхностных и объемных свойств растворов поверхностно-активных веществ. *Успехи коллоидной химии*. М.: Наука, 1973. С. 9–29.
11. Griffith A.A. The Phenomenon of Rapture and Flow in Solids. *Rhos. Trans. Roy. Soc.* 1920. PP. 163–198.
12. Ходаков Г.С. Физика измельчения. М.: Наука, 1972. 307 с.
13. Ребиндер П.А., Калиновская Н.А. Понижение поверхностной энергии и твердости адсорбционными слоями. *Журнал физ.- химии*. 1934, т. 5, № 2. С. 332–357.
14. Воробйов В.В., Кулинич В.Д. On the influence of surface-active substances on the speed change of the mechanical processing of rocks. *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: Науково-виробничий збірник*. Кременчук: КрНУ, 2017. Вип. 1/2017(19). С. 28–32.
15. Николаев Н.И., Леушева Е.Л. Перспективы применения ПАВ в составе промывочной жидкости для снижения прочности горных пород на забое скважины. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна»*. Вип. 14(181). 2011 р. С. 215–217.
16. Друкованный М.Ф., Гейман Т.М., Комир В.М. Новые методы и перспективы развития взрывных работ на карьерах. М.: Наука, 1966. 202 с.
17. Латышев О.Г., Жилин А.С., Осипов И.С. К обоснованию методики определения характеристик дробимости горных пород ударом и взрывом. *Изв. вузов. Горный журнал*. 2005. № 1. С. 103–107.

**ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF THE USE  
OF SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES IN THE MINERAL INDUSTRY  
AND THEIR RATIONALITY**

**V. Kulynych**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: vikulsija@gmail.com

**Purpose.** The purpose of the work is to study the influence of existing solutions of surfactants on the technological properties of rocks and methods of their use in drilling operations and mining industry. Surfactants have long been used successfully in a wide variety of industrial areas. However, despite the apparent effectiveness of their application, widespread in mountain practice, they did not receive due to insufficient level of theoretical and methodological foundations. Only a few works in this area are known that outlined the main approaches to the solution of this issue that need further development. **Methodology.** We have applied the analytical review of using surfactants, their role in modern mining industry, the most popular and widespread surfactants solutions, being used on the different stages of extraction and processing of rocks, impact on their strength characteristics. **Results.** Numerous studies confirm the effectiveness of the use of surfactants to change the durability of the development array without explosive influence. According to the results obtained, the urgent issues for the extraction of rock formations are the use of surfactants in a complex with pulsed loads, and it is necessary to determine the influence of different types of surfactants on the energy costs of processing mineral raw materials, their concentration and volumes in wells and hollows. It has been established that reducing the strength of rock with the effect of surfactant leads to a reduction in the energy intensity of its destruction and to increase the productivity of machines. However, it is important to pick up such surfactant solutions that would be acceptable for specific types of mining operations taking into account the environmental aspects. **Originality.** For the first time, we have investigated to the different ways of surfactants use in mining conditions and have determined the main way to further researches. **Practical value.** We have checked existing methods and determined their advantages and disadvantages to improve the necessity of investigation of using the surfactants in mining industry. References 17, tables 0, figures 0.

**Key words:** surfactants, mining industry, Rebinder effect, adsorption decrease of strength of solids.

REFERENCES

1. Internet resource <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/336117.html>.
2. Vorobyov, V., Pomazan, M., Shlyk, S., Vorobyova, L. (2017), "Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator", Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol. 3, no. 1(87), pp. 53–62, ISSN 1729-4061.
3. Abramson, A., Zaichenko, L., Finehold, S. (1988) *Poverhnostno-aktivnyie veschestva. Sintez, analiz, svoystva, primenenie* [Surfactants. Synthesis, analysis, properties, application], Himiya, Leningrad, Russia.

4. Doludareva, Ya., Lemizhanska, V., Kozlovska, T., Komir, A. (2013) “The influence of surface-active substances in the region of rock destruction on the intensity of their fragmentation under the action of pulsed loads”, *Naukovij visnyk Natsionalnogo girnychogo universytetu*, vol. 4, no. 130, pp. 93–97.
5. Synbulatov, V.V. (2005), “Directional change of the deformation characteristics of rocks with surfactants”, *Materialy Uralskoy gornopromyshlennoy dekady*, [Materials of Ural mining decade], Ekaterinburg, UGGU, April 4–14, 2005, pp. 19–20.
6. Alekseev, A., Starikov, G., Malyuga, M., Anosov, O. (1988) *Obrabotka vyibrosoopasnyih plastov vodnyimi rastvorami PAV* [Treatment of outburst formations with aqueous surfactant solutions], Tehnika, Kyiv, Ukraine.
7. Latyshev, O.G. (2000), “The use of surfactants in mining processes”, *Materialy Uralskoy gornopromyshlennoy dekady*, [Materials of Ural mining decade], Ekaterinburg, UGGU, vol. 11, pp. 153–159.
8. Pertsov, N.V. (1986), “The mechanism of action of surfactants in the destruction of materials”, *Fiziko-himicheskaya mehanika i liofilnost dispersnyih system*, [Physico-chemical mechanics and lyophilicity of dispersed systems], Naukova dumka, Kyiv, vol. 18, pp. 5–11.
9. Doludareva, Ya., Kulynych, V., Kozlovska, T., Doludarev, V. (2013), “Surfactants as destabilizers of elastoplastic properties of rocks”, *Suchasni resurso-energozberigauchi technologii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 12, pp. 11–20.
10. Rebinder, P.A. (1973), “The relationship of surface and bulk properties of solutions of surface-active substances”, *Uspehi kolloidnoy himii*, [Successes of colloid chemistry], Nauka, Moscow. pp. 9–68.
11. Griffith, A.A. (1920) The Phenomenon of Rapture and Flow in Solids. *Rhos. Trans. Roy. Soc.*, pp. 163–198.
12. Khodakov, G.S. (1972), *Fizika izmelcheniya*, [Grinding physics] Nauka, Moscow, Russia.
13. Rebinder, P.A., Kalinovskaya, N.A. (1934) “Reduction of surface energy and hardness by adsorption layers”, *Zhurnal fiz.-himii*, [Journal of Physical Chemistry], vol. 5, № 2, pp. 332–357.
14. Vorobyov, V., Kulynych, V. (2017), “On the influence of surface-active substances on the speed change of the mechanical processing of rocks”, *Suchasni resurso-energozberigauchi technologii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 1, no. 19, pp. 28–32.
15. Nikolaev, N.I., Leusheva, E.L. (2011), “Prospects for the use of surfactants in the composition of the washing liquid to reduce the strength of rocks at the well bottom”, *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya «Girnichy-geologichna»*, vol. 14, no. 181, pp. 215–217.
16. Drukovannyiy, M.F., Geyman, T.M., Komir, V.M (1966), *Novyie metody i perspektivy razvitiya vzryivnyih rabot na karerakh*, [New methods and prospects for the development of blasting in quarries] Nauka, Moscow, Russia.
17. Latyshev, O.G., Zhilin, A.S., Osipov, I.S. (2005) “To the substantiation of the methodology for determining the characteristics of crushability of rocks by impact and explosion”, *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal*, № 1., pp. 103–107.

Стаття надійшла 24.12.2018.