

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

work of the explosion", *Vysokoenergeticheskaia obrabotka materialov. Sbornik nauchnykh trudov* [The High-energy Materials Processing. Collection of scientific papers], pp. 103-109.

4. Efremov, E.I., Nikiforova, V.A. (2009), "Theoretical estimation of the time of departure of cylindrical explosive charges tappings", *The collection "Modern Resources and Energy Saving Technologies in Mining Industry"*, no. 1/2009 (3), pp. 13-17.

5. Vorobiov, V.D. (1995), "Methods of rocks crushing by control of anisotropic pulse explosion parameters of combined charges (for quarries of notminerals industry)", Thesis abstract for Doc. Sc. (Engineering.), 05.15.11, IGM NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine.

6. Liakhov, G.M. (1974), *Osnovy dinamiki vzryvnykh voln v gruntakh i gornykh porodakh* [Basics of blast waves dynamics in soils and rocks], Nedra, Moscow, Russia.

7. Baum, F.A., Orlenko, L.P., Staniukovich, K.P. and etc. (1975), *Fizika vzryva* [Physics of explosion], Nauka, Moscow, Russia.

8. Prokopenko, V.S. (2010), *Razrushenie gornykh porod skvazhynnymi zariadami vzryvchatykh veshchestv v rukavakh* [Destruction of rocks by hole charges of explosives in the sleeves], NTUU "KPI", Kiev, Ukraine.

Стаття надійшла 04.04.2014.

УДК 622.235

ВПЛИВ НЕРУЙНУЮЧОГО ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЗАЛИШКОВУ МІЦНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

А. М. Пєєв, Г. О. Матюхіна

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

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Зроблено вибір раціональної форми зразків за результатами експериментальних досліджень з визначення межі міцності. Встановлені значення коефіцієнтів варіації, обчислених за результатами обробки експериментів. Встановлено вплив неруйнівного механічного навантаження на властивості міцності піщано-цементних зразків.

Ключеві слова: розміщення, стиск, неруйнуюче динамічне навантаження, межа міцності.

ВЛИЯНИЕ НАРАЗРУШАЮЩЕГО ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА ОСТАТОЧНУЮ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

А. М. Пеев, А. А. Матюхина

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

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Сделан выбор рациональной формы образцов по результатам экспериментальных исследований по определению предела прочности. Установлены значения коэффициентов вариации, вычисленных по результатам обработки экспериментов. Установлено влияние разрушающей механической нагрузки на прочностные свойства песчано-цементных образцов.

Ключевые слова: разупрочнение, сжатие, разрушающее динамическое нагружение, предел прочности.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Відбійка скельних гірських порід поєднана не тільки з дезінтеграцією певної частини масиву, а й обумовлює додаткову наведену мікротріщинуватість в шматках гірничої маси, що утворюються, а це є причиною зниження їх міцності, що може істотно вплинути на енергетичні витрати при механічному дробленні. Для підприємств залізорудної галузі розміщення шматків гірничої маси не пов'язане з негативними наслідками і може сприяти зменшенню енергетичних витрат на головний дробарці.

Міцносні властивості готової продукції та енергетичні витрати при механічній переробці нерудних будматеріалів залежать від міцносних властивостей шматків гірничої маси. Разом із тим, процес переробки гірничої маси на дробильно-сортувальних заводах надає неоднозначного впливу на характеристики міцності щебеню. З одного боку, зменшення розмірів шматків гірської породи збільшує їх міцність за рахунок масштабного фактора, з іншого – наведена мікротріщинуватість при імпульсних механічних впливах знижує її. Економічні показники роботи цієї групи підприємств значною мірою залежать від міцносних властивостей і фракційного складу, що випускається, тому, враховуючи відпускну ціну, необхідно прагнути до випуску високоміцного щебеню дрібних фракцій, в максимальному ступені зберігаючи властивості міцності порід після вибухової відбійки.

При видобутку штучного каменю застосування бризантних вибухових речовин взагалі неприпустимо, оскільки в результаті наведеної мікротріщинуватості вихід некондиції при розпилюванні блоків штучного каменю зростає в кілька разів і може перевищувати 50 %. У зв'язку з цим, вивчення впливу неруйнуючого динамічного навантаження на зміну характеристик міцності нерудних гірських порід становить значний науковий і практичний інтерес [1–3].

Метою роботи є розробка методики, що дозволяє здійснити кількісну оцінку впливу неруйнуючих динамічних навантажень на властивості міцності крихких матеріалів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Межа міцності гірських порід і моделюючих матеріалів при одновісьовому стиску необхідно визначати на зразках правильної геометричної форми, зокрема, на кубах, призмах і циліндрах з різними співвідношеннями їх розмірів [4].

Для вибору раціональної форми зразків проведена серія експериментальних досліджень з визначення межі міцності циліндричних і кубічних зразків. Усі зразки для випробувань (по шість кожної форми) готували з однієї партії піщано-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

цементного розчину (при співвідношенні цементу та піску 1:2). Розчин заливали в циліндричні і кубічні комірочки, виконані з картону. По закінченні трьох діб зразки витягували з комірок і витримували протягом 28 діб – вони набирали міцність.

Відповідно до положення міжнародного стандарту з визначення межі міцності гірських порід при одновісьовому стиску висота циліндричного зразка $H=80$ мм, а діаметр $D=40$ мм [5]. Розміри кубічних моделей прийняті $40 \times 40 \times 40$ мм. Паралельність торцевих площин забезпечували шліфуванням.

Межу міцності матеріалу при одновісьовому стиску визначали за результатами випробувань зразків на машині EDZ-100:

$$\sigma_{i_{\text{мі}}} = \frac{P_{i_{\text{max}}}}{F_0}, \quad (1)$$

де $\sigma_{i_{\text{мі}}}$ – межа міцності випробуваного «i»-го зразка, МПа; $P_{i_{\text{max}}}$ – максимальне зусилля, створене випробувальною машиною при руйнуванні i-ого зразка, МН; F_0 – площа поперечного перерізу зразка, м^2 .

Матеріали за результатами випробувань приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Межа міцності при стисненні піщано-цементних зразків
різної форми

Форма зразків	Межа міцності окремих зразків, МПа						Середнє значення межі міцності, МПа
	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	
Циліндрична	11,01	10,38	9,44	10,75	10,52	9,44	10,27
Кубічна	11,19	10,86	10,71	10,83	11,07	10,94	10,93
Циліндрична (перерахунок)	12,38	11,68	10,62	12,09	11,84	10,62	11,54

Оскільки в циліндричних зразках відношення висоти до діаметру ($\frac{l}{d}$) складає 2, то, відповідно до основних положень міжнародного стандарту з визначення межі міцності гірських порід при одновісьовому стиску, виробляли перерахунок результатів експерименту за формулою:

$$\sigma_n = \frac{9\sigma_i}{7 + 2\frac{l}{d}}. \quad (2)$$

Різниця в значеннях перерахованого середнього значення межі міцності і межі міцності, визначеного на кубічних зразках, становить 5,58 %. Якщо скористатися результатами тільки трьох довільних дослідів, то середнє арифметичне значення межі міцності знаходиться в діапазоні:

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

– для циліндричних зразків:

$$9,75 \text{ МПа} \leq \sigma_{i_{ми}} \leq 10,76 \text{ МПа};$$

– для кубічних зразків:

$$10,8 \text{ МПа} \leq \sigma_{i_{ми}} \leq 11,07 \text{ МПа}.$$

Значення середньої арифметичної величини межі міцності, визначеної за результатами трьох дослідів, відхиляється від значень за шести дослідом для циліндричних зразків на $\pm 4,87\%$, для кубічних – на $1,28\%$.

Значення коефіцієнтів варіації, обчислених за результатами обробки трьох, чотирьох, п'яти і шести дослідів знаходиться в діапазоні $6,29\text{--}8,4\%$, для циліндричних і $1,84\text{--}2,05\%$ для кубічних зразків. Таким чином, кубічні зразки використовувати краще, а при ретельній підготовці зразків гірських порід до випробувань і відсутності «промахів», можна обмежитися трьома дослідом при досить високій достовірності отриманих результатів. Якщо виявлено «промах», то цей результат необхідно виключити з розгляду і проводити додаткові дослідом, що забезпечують необхідну точність результатів експериментів.

Механічне дроблення гірських порід обумовлює додаткову наведену мікротріщинуватість в шматках, що утворюються. Наведена мікротріщинуватість є причиною зниження характеристик міцності шматків гірської породи і може істотно вплинути на енергетичні витрати наступних технологічних процесів. У зв'язку з цим, дослідження впливу неруйнуючих динамічних навантажень на властивості міцності крихких матеріалів становить суттєвий науковий і практичний інтерес, проте до теперішнього часу немає прийнятної методики, що дозволяє здійснити кількісну оцінку цього впливу.

Для дослідження впливу неруйнуючого динамічного навантаження на межу міцності матеріалу була запропонована і використана наступна методика.

Динамічне механічне навантаження було створено за допомогою падаючого вантажу, для чого на одній з торцевих поверхонь зразку була сформована лунка, в якій розміщували кульку (матеріал – сталь ШХ-15) діаметром $5\text{--}8$ мм. З певної висоти h на кульку, що знаходиться в лунці, був скинутий вантаж з масою m (рис. 1).

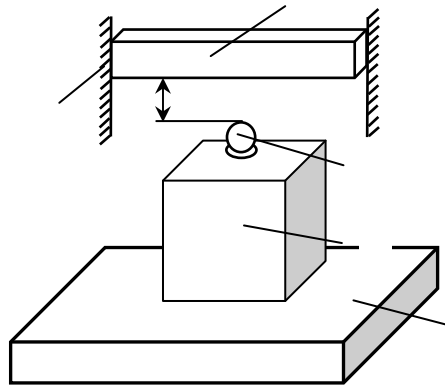


Рисунок 1 – Схема ударного навантаження зразку:
1–вантаж; 2–кулька; 3–зразок; 4–направляючі; 5–плита

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Енергія удару визначалася за відомою формулою:

$$U = mgh. \quad (3)$$

Експериментальні дослідження починалися з мінімальної висоти падіння вантажу, збільшуючи її до появи у зразку першої макротріщини, тим самим встановлювалося граничне неруйнуюче механічне (ударне) навантаження. Після неруйнуючих ударних впливів, зразки були випробувані для визначення залишкової міцності.

На ступінь розміцнення зразків при динамічному впливі може впливати швидкість прикладання навантаження. Оскільки швидкість прикладання ударного навантаження залежить від швидкості тіл, що вдаряються, то зміною маси вантажу і висоти його падіння при постійній енергії удару, можна досліджувати зміну характеристик міцності зразка залежно від швидкості навантаження.

Для оцінки прийнятності даної методики була поставлена серія експериментів з дослідження впливу механічного навантаження на зміну міцності властивостей піщано-цементних циліндричних зразків. Зразки були виготовлені з піщано-цементної суміші при співвідношенні цементу і піску 1:2.

Ударне навантаження створювалося при падінні на зразок вантажу масою 5 кг з висоти, що змінюється в діапазоні від 80 до 115 мм. При висоті падіння вантажу більше 115 мм зразки руйнувалися. Після ударного неруйнуючого навантаження, зразки були випробувані при статичному стисненні для визначення їх залишкової міцності. У кожній серії експериментів при одній висоті падіння вантажу досліди повторювали по три рази.

Результати досліджень після їх обробки наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Вплив неруйнівного механічного навантаження на властивості міцності піщано-цементних зразків

Висота падіння вантажу, мм	Енергія удару, Дж	Міцність при одновісьовому стиску, МПа			Середня міцність на стиск σ , МПа	Відносна середня міцність, $\sigma_i/\sigma_0 \cdot 100\%$
		1	2	3		
0	0	11,01	10,38	9,44	$\sigma_0=10,275$	$\bar{\sigma}_0=100$
80	4	7,86	9,44	8,49	$\sigma_1=8,6$	$\bar{\sigma}_1=83,7$
90	4,5	10,07	6,61	7,86	$\sigma_2=8,18$	$\bar{\sigma}_2=79,61$
100	5	8,18	9,44	6,61	$\sigma_3=8,07$	$\bar{\sigma}_3=78,54$
105	5,25	6,61	9,12	7,55	$\sigma_4=7,76$	$\bar{\sigma}_4=75,52$
110	5,5	9,12	6,61	6,92	$\sigma_5=7,55$	$\bar{\sigma}_5=73,48$
115	5,75	7,86	7,55	6,61	$\sigma_6=7,34$	$\bar{\sigma}_6=71,43$

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Як впливає з табл. 2, збільшення енергії ударної неруйнуючого навантаження зменшує залишкову міцність зразків. Залежність відносної залишкової міцності від енергії удару в першому наближенні можна вважати лінійною з поправкою на невеликі флуктуації, обумовлені випадковими чинниками.

ВИСНОВКИ. Аналіз результатів досліджень впливу неруйнуючого динамічного навантаження на залишкову міцності крихкого матеріалу показує, що при збільшенні висоти падіння вантажу, міцність зразка зменшується. При цьому зміна середньої залишкової міцності під дією неруйнуючого механічного навантаження змінюється майже за лінійною залежністю.

Запропонована методика дозволяє проводити дослідження впливу неруйнуючих динамічних навантажень на властивості міцності крихких матеріалів. В якості зразків можливо використання шматків гірських порід, які слід попередньо піддати механічній обробці, для надання їм правильної геометричної форми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чертков В.Я. О связи зон смятия дробления и радиальных трещин с критической микротрещиноватостью // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1984. – № 5. – С. 49–52.
2. О взаимосвязи прочностных и акустических свойств пород в зоне предразрушающего действия взрыва / В.Е. Александров, А.Н. Кочанов, Б.В. Левин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1987. – № 4. – С. 45–48.
3. Кочанов А.Н. Закономерности взрывного разупрочнения горных пород // Соверш. буровзрывных работ в нар. хоз-ве: Всес. 10 Юбил. науч.-техн. совещ., Губкин, 27–29 сентября 1988: тез. докл. – М., 1988. – С. 107.
4. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш. – М.: Недра, 1969. – 393 с.
5. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1979. – 269 с.

INFLUENCE OF NON-DESTRUCTIVE DYNAMIC LOADING ON RESIDUAL STRENGTH OF MATERIALS

A. Pejev, A. Matyukhina

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

It was made a selection of a rational form of samples from experimental studies to determine the tensile strength. It was shown the values of the coefficients of variation, calculated from the results of processing experiments. It was found the effect of non-invasive mechanical load on the mechanical properties of sand and cement samples.

Key words: softening, compression, non-destructive dynamic loading, the tensile strength.

REFERENCES

1. Chertkov, V.Ya. (1984), "On the connection between zones of crumpling crushing and radial cracks with critical microcracks", *Physyko-tekhnycheskye problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*, no.5, pp. 49–52.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

2. Aleksandrov, V.Ye., Kochanov, A.N., Levyn, B.V. (1987), "On the relationship between strength and acoustic properties of rocks in the area of pre-destructive action of explosion", *Physyko-tekhnycheskye problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*, no.4, pp. 45–48.

3. Kochanov, A.N. (1988), "Regularities of explosive softening of rocks", *Socvershenstvovanie burovzryvnyh rabot v narodnom hozyajstve: Vsesouznyi 10 Yubileynoe nauchno-tekhnycheskoe soveshanie, tezysy dokladov* [Improvement of blasting in the national economy: 10 Anniversary All-Union Scientific and Technical Meeting, reports], Gubkin, September 27-29, 1988.

4. П'nytskaya, Ye.I., Teder, R.I., Vatolyn, Ye.S., Kuntyshe, M.F. (1969), *Svoystva gornyh porod i metody ih opredeleniya* [Rock properties and methods of their determination], Nedra, Moscow, Russia.

5. Kartashov, Yu.M., Matvejev, B.V., Myhejev, G.V., Fadejev, A.B. (1979), *Prochnost i deformyruemost gornyh porod* [Strength and deformability of rocks], Nedra, Moscow, Russia.

Статья надійшла 16.04.2014.

УДК 622.831.3

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НАЧАЛЬНОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРОТЕКАНИЕ ПОТЕРИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД ПОЧВЫ ОДИНОЧНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

С. Н. Гапеев, Д. М. Логунов

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: sergey.gapeev@hotmail.com

Представлены результаты оценки влияния величины коэффициента бокового распора λ на протекание процесса пучения пород почвы одиночной протяженной выработки, которое рассматривается с позиций гипотезы о потере упруго-пластической устойчивости, предложенной профессором А.Н. Шашенко. На эквивалентных материалах испытана серия моделей с различным наклоном слоев при различной величине λ . Установлено, что величина смещений в почве выработки нелинейно зависит от коэффициента бокового распора λ и угла наклона слоев пород и для пластов с углом падения до 15 градусов при значениях $\lambda = 0,75-1,25$ отличается в пределах 7 %, что позволяет упрощать без потери точности расчетные схемы геомеханических задач для выработок, находящихся в таких условиях, принимая $\lambda = 1$ и получать адекватные решения при разработке способов обеспечения устойчивости выработок.

Ключевые слова: пучение пород почвы, бифуркация, коэффициент бокового распора, начальное поле напряжений, эквивалентные материалы.