

chanical properties of rocks, which may be determined by adsorption-adhesive properties of gaseous detonation products.

Key words: rocks, micro and macro fracturing, chemical energy.

REFERENCES

1. Kuznetsov, V.M. (1977), *Matematicheskie modeli vzryvnogo dela*, [Mathematical models of blasting], Nauka, Novosybyrsk, Russia.
2. Adushkin, V.V. (1999) *Modelnye issledovaniya razrusheniya gornyh porod vzryvom // Fizicheskie problemy vzryvnogo razrusheniya massiva gornyh porod* [Model studies of rock destruction with explosion // Physical problems of explosive destruction of the rock mass], Moscow, Russia.
3. Malzev, V.M., Solovyov, V.A. (2008), “Shock pulse method for calculating the parameters of the wedge cut”, *Vzryvnoe delo*, vol. 99/56, pp. 20–32.
4. Chebenko, Yu.M. (2010) “Effect of chemical energy of the explosive transformation of explosive on the effectiveness of mechanical rocks crushing”, *Suchasni resursoenergozberigauchi tehnologiyi girnychogo vyrobnytstva*, vol. 1, no. 5, pp. 32–38.
5. Efremov, E. I., Nikiforova, V.A., Chebenko, Yu.N. (2012), “Influence of the diameter of the hole on the contact area of the explosive with bursting rock on output fines”, *Suchasni resursoenergozberigauchi tehnologiyi girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 10, pp. 9–15.
6. Efremov, E. I., Chebenko, Yu.N. (2011), “Experimental studies of the influence of the contact area of explosives in the destruction of granite on the grain size of dust fractions”, *Visnyk Kremenchutskogo natsionalnogo universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskogo*, vol. 3, no. 68, pp. 118–121.

Статья поступила 08.10.2013.

УДК 622.235

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОЦЕС ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ПРИ ВИДОБУВАННІ КАМ'ЯНИХ БЛОКІВ

Т. В. Гребенюк, К. К. Ткачук

Національний технічний університет України «КПІ»

вул. Борщагівська, 115/3, м. Київ-56, 03056, Україна.

E-mail: t.grebeniuk@mail.ru

Процес відколювання кам'яних блоків ініціюється прикладанням до стінок циліндричних шпурів статичних або динамічних навантажень. Проведені експериментальні дослідження та розроблена методика створення динамічних навантажень на контур шпурового отвору. В якості експериментального матеріалу вибрано пластин з органічного скла. Експериментальне моделювання процесу тріщиноутворення дало можливість визначити час дії та середню швидкість поширення динамічних збурень по площині пластини.

Ключеві слова: динамічне навантаження, шпур, тріщиноутворення.

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2013(12).

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРОЦЕСС
ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДОБЫЧЕ КАМЕННЫХ БЛОКОВ**

Т. В. Гребенюк, К. К. Ткачук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ул. Борщаговская, 115/3, г. Киев-56, 03056, Украина.

E-mail: t.grebeniuk@mail.ru

Процесс откалывания каменных блоков инициируется приложением к стенкам цилиндрических шпуров статических или динамических нагрузок. Проведены экспериментальные исследования и разработана методика создания динамических нагрузок на контур шпурового отверстия. В качестве экспериментального материала выбраны пластины из органического стекла. Экспериментальное моделирование процесса трещинообразования дало возможность определить время действия и среднюю скорость распространения динамических возмущений по плоскости пластины.

Ключевые слова: динамическая нагрузка, шпур, трещинообразование.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Видобування кам'яних блоків в більшості випадків виконується за допомогою використання лінії шпурів, які пробурені в площині запланованого відколювання. Процес відколювання ініціюється прикладанням до стінок циліндричних шпурів статичних або динамічних навантажень. Оскільки при динамічних навантаженнях стінок циліндричних шпурів, гірський масив перебуває в стані пласкої деформації, то експериментальне моделювання буде проводитися на пластинах, серединна поверхня яких співпадає з площиною, перпендикулярній вісі шпура.

У гірничій справі експериментальне моделювання застосовується для вирішення задач статичної і динамічної породних масивів. При цьому розглядаються просторові (тривимірні) і пласкі (двовимірні) задачі геомеханіки, причому зазвичай перевага віддається, якщо це можливо, пласким задачам, які дозволяють досліджувати більш багатопараметричні системи. Та обставина, що рівняння, які описують розподіл напружень при пласкій деформації відрізняються від рівнянь, які описують розподіл напружень при пласкому напруженому стані, лише постійним множником, дає нам змогу виконати експериментальні моделювання на пластинах, а не на тривимірних зразках [1].

Для експериментальних досліджень хвильових механічних ефектів в пластинах з оргскла була розроблена спеціальна методика.

Мета роботи – експериментальне обґрунтування процесу тріщиноутворення при видобуванні монолітних блоків від гірського масиву.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Експериментальним матеріалом для дослідження процесів, що відбуваються в гірських породах, вибрано пластины з органічного скла. Геометричні параметри пластины наступні: $a = 1,0$ м; $b = 0,5$ м; $h = 0,0045$ м.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Джерелом динамічних збурень слугує ударник у вигляді сталеної кульки вагою 0,035 кг, який скидається на пластину з висоти $H = 0,25$ м на відстані l від тензодатчика. Схему дії ударного навантаження наведено на рис. 1.

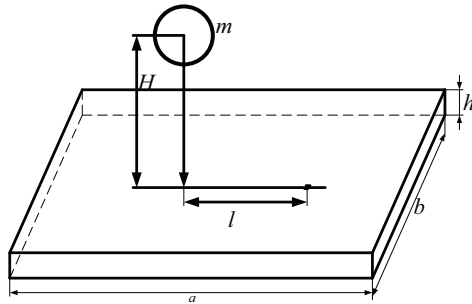


Рисунок 1 – Схема дії ударного навантаження

Для реєстрації динамічних деформацій використовувався напівпровідниковий тензорезистор КТД 7Б з базою $L = 0.007$ м, активним опором 620 Ом і коефіцієнтом чутливості $\gamma = 100$.

Тензорезистор для вимірювання деформацій ϵ_r^d наклеювався епоксидною смолою ЕД-20 по лінії l , яка проходить через центр отвору і точку падіння сталеної кульки на пластину (рис. 1) і включався до мостової схеми [2] (рис. 2).

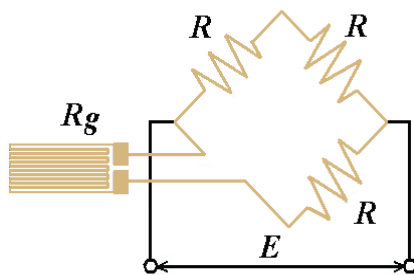


Рисунок 2 – Мостова схема дослідження впливу динамічних навантажень

Підкреслимо, що при проведенні експерименту була можливість фіксовано переміщувати місце падіння кульки на відстань l відносно до одного тензодатчика (рис. 1). Перевага запропонованої схеми, полягає в тому, що послідовне зміщення джерела динамічних збурень відносно до одного й того ж наклеєного на пластині датчика еквівалентне випадкам позиціонування датчиків у різних точках поверхні пластини і фіксованому розташуванню точки падіння кульки. Оскільки в цьому випадку виходить, що використовується один і той саме датчик з одним і тим самим способом наклеювання, то є можливим проводити вимірювання деформацій на різних відстанях від місця падіння сталеної кульки з однаковою похибкою.

Для живлення тензорезистора використовувався акумулятор марки NP7-12 В. Амплітуда деформацій фіксувалася в мВ, а час дії в мкс. Перерахунок значень динамічних деформацій ϵ_r^d виконувався згідно формули [2]

$$\epsilon_r^d = 4\Delta \frac{u}{\gamma_u}, \quad (1)$$

де Δu – приріст деформацій у мВ, $u = 12$ В.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Великий розкид частот і мала тривалість ударного сигналу, його значна амплітуда потребують застосування ширококутових швидкодіючих вимірювальних систем із великим динамічним діапазоном. Таким вимогам відповідає сучасний двопробеневий осцилограф з пам'яттю GDS-806S ~ 8.

Такі осцилографи забезпечують можливість підключення до персонального комп'ютера через порти RS-232 або USB і можливість підключення до зовнішнього лазерного принтера для роздрукування результатів, відображених на дисплеї. Для реєстрації розвитку динамічних деформацій у часі використовувався один з променів осцилографа GDS-8065-99.

Типова осцилограма у мВ – час в мкс показана на рис. 3.

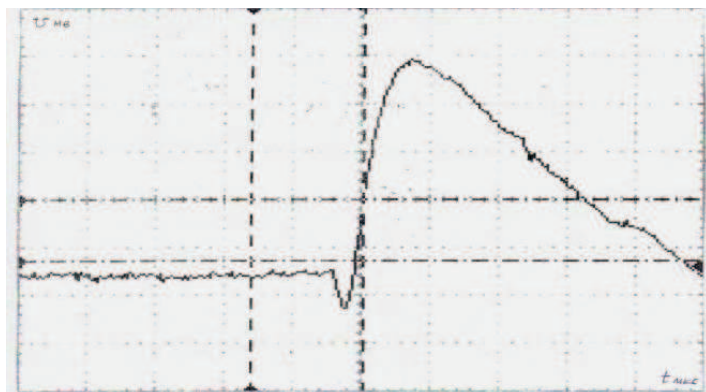


Рисунок 3 – Типова осцилограма ϵ_r^d у Мв – час у мкс

Табл. 1 демонструє характер затухання амплітуди ϵ_r^d від відстані датчика до точки удару сталеві кульки по пластині. У табл. 1 наведено дані, осереднені за трьома аналогічними експериментами.

Згідно з висновком, отриманим у роботі [3], величину ударної сили можна вважати сталою протягом усього часу дії удару, а її значення визначається співвідношенням

$$F = \frac{m\sqrt{2gH}}{\tau}, \quad (2)$$

де m – маса кульки, g – прискорення земного тяжіння, H – висота скидання кульки, τ – час дії удару.

Таблиця 1 – Характер затухання амплітуди ϵ_r^d від відстані датчика до точки удару

$l, м$	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20
ΔU мВ	220,5	94,2	28,8	12,3	7,5
$\epsilon_r^d \cdot 10^3$	-0,735	-0,314	-0,096	-0,041	-0,025

Для більш точної ідентифікації ударних навантажень, які виникають у пластині при падінні на неї сталеві кульки, необхідно розв'язувати обернену задачу математичної фізики. Це дає можливість поновити аналітичний вигляд

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

імпульсного навантаження як функції часу за її проявленням деформаційного характеру [4]. Цей деформаційний характер визначається згідно з осцилограмою, яку наведено на рис. 3. Проведені дослідження [4] показали, що відпрацьований метод ідентифікації імпульсних навантажень, у тому числі й ударних, на основі експериментальних даних є ефективним і стійким до похибок, які виникають на шляху експериментальних вимірювань деформацій тензOMETричним методом.

На рис. 4 наведено графік, який описує характер залежності максимальних деформацій ϵ_r^d від відстані l до центра падіння сталеві кульки на пластину.

Графік на рис. 4 можна описати за допомогою функції $\epsilon_r^d = a l^b e^{c l}$.

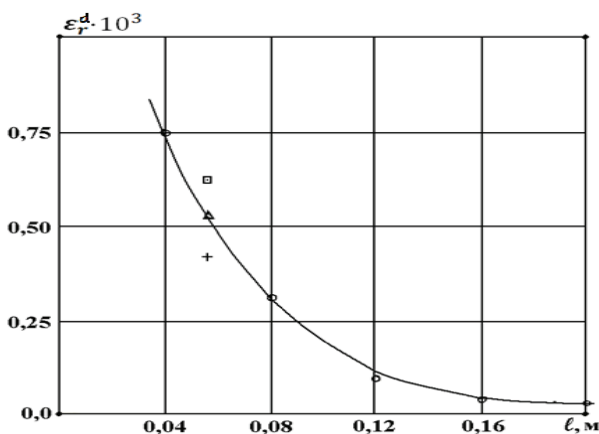


Рисунок 4 – Залежності максимальних деформацій ϵ_r^d від відстані l до центра падіння сталеві кульки на пластину

Сталі a, b, c визначимо, користуючись даними експериментальних вимірювань деформацій тензOMETричним методом, які наведено в табл. 1: $a = 0,3982$; $b = -0,05889$; $c = -21,886$.

Слід підкреслити, що динамічні збурення від ударних навантажень інтенсивно затухають при збільшенні відстані від точок її дії (див. рис. 4). Цей факт необхідно враховувати при вдосконаленні статико-динамічних методів видобутку гранітних блоків, оскільки він вказує, що в цьому випадку зародження тріщин доцільніше ініціювати ударними навантаженнями.

Оскільки в подальшому будуть розглядатися умови поширення тріщин у пластині з органічного скла, швидкість яких досягає від 0,2 до 0,3 від швидкості поширення звуку в матеріалі пластини, то доцільно більш детально дослідити хвильові процеси, які виникають у пластині. Для повної характеристики поширення хвильових збурень від удару сталеві кульки по пластині з органічного скла по лінії l експериментально визначалася їх швидкість. Пластина встановлювалася на ударній трубі, вага якої в 10^4 раз більша за вагу пластини (рис. 5) і була механічно розв'язана з ударною трубою за допомогою поролонових прокладок, жорсткість яких дуже мала порівняно із жорсткістю пластини, тому нічого не заважало вільному поширенню збурень від удару шарів за час вимірювання деформацій.

Вимірювання швидкості поздовжніх хвиль здійснювалося за допомогою чутливих акселерометрів та осцилографа GDS-806-S. Два акселерометри марки АП-19 наклеювались на плиту з органічного скла по прямій лінії на відстані

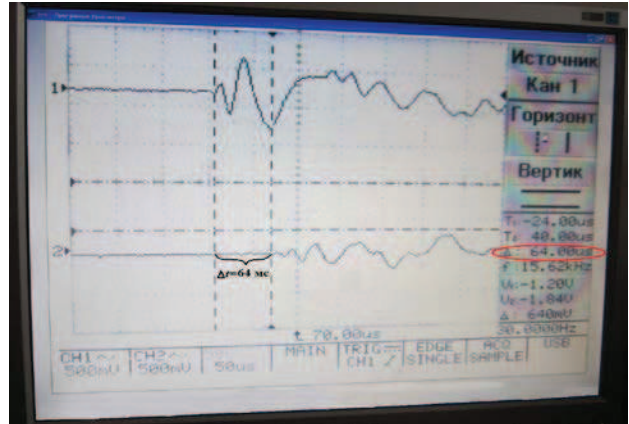
Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2013(12).

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

$\Delta l = 160$ мм. Сигнали з акселерометрів виводились на обидва промені осцилографа GDS-806-S, що дозволило визначити час пробігу збурення між акселерометрами, який склав $\Delta t = 64$ мкс (рис. 6). Таким чином, середня швидкість розповсюдження збурень по площині дорівнює: $v_l = \frac{\Delta l}{\Delta t} = 2500 \frac{м}{с}$.



Рисуюнок 5 – Стенд для визначення швидкості поширення динамічних збурень



Рисуюнок 6 – Вигляд осцилограми при визначенні швидкості поширення динамічних збурень

Підкреслимо, що акселерометри наклеювалися таким чином, щоб відбиті від вільних сторін пластини хвилі не впливали на вимірювання швидкості поширення збурень.

ВИСНОВКИ. Розроблено оригінальну експериментальну методику створення динамічних навантажень на контур отвору, яка слугує складовою методики для експериментального дослідження взаємодії статичних і динамічних полів напружень при видобутку кам'яних блоків статико-динамічним шпуровим методом.

Експериментальне моделювання процесу тріщиноутворення дозволило визначити час пробігу динамічних збурення, який для конкретного випадку склав 64 мкс та середню швидкість розповсюдження збурень по площині пластини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. – К.: Наукова думка, 1968. – 887 с.
2. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: справочное пособие – К.: Наукова думка, 1981. – 583 с.
3. Застосування концентраторів руйнування при вийманні вугільних ціликів / К.К. Ткачук, С.М. Стовпник, Т.В. Гребенюк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2011. – Вип. 20. – С. 94–99.
4. Румянцев С.А. Динамика переходных процессов и самосинхронизация вибрационных машин. – Екатеринбург УРОРАН, 2003. – 135 с.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

**EXPERIMENT RESEARCH OF INFLUENCE OF DYNAMIC LOADING
ON PROCESS OF CRACK FORMATION AT BOOTY OF LITHOIDAL BLOCKS**

T. Grebeniuk, K. Tkachuk

National technical university of Ukraine «KPI»

vul. Borshchahivka, 115/3, 03056, Kyiv, Ukraine. E-mail: t.grebeniuk@mail.ru

The process of cracking-off of stone blocks is initiator an appendix to the walls of cylinder shpuriv of the static or dynamic loadings. Undertaken experimental studies and worked out methodology of creation of the dynamic loading on the contour of opening. In quality experimental material plates are chosen from organic glass. The experimental design of process of crack formation gave an opportunity to define time of action and middle speed of distribution of dynamic indignations on the plane of plate.

Key words: dynamic loading, borehole, crack formation.

REFERENCES

1.Savyn, H.N. (1968) *Raspredelenye napryazhenyy okolo otverstyy*. – Kyiv, Naukova dumka – 887 p.

2.*Experimentalnaya methodika yssledovaniya deformatsyy y napryazhenyy spravochnoe posobyе* – Kyiv, Naukova dumka, 1981– 583 p.

3.Tkachuk. K.K. *Zastosuvannya kontsentratoriv ruynuvannya pry vyumanni vuhil'nykh tsilykiv* / K.K. Tkachuk, S.M. Stovpnyk, T.V. Hrebenyuk // Visnyk NTUU «KPI». Seriya «Hirnytstvo».-2011.- issue 20. – pp. 94–99.

4.Rumyantsev S.A. (2003) *Dynamyka perekhodnykh protsessov y samosynkhronyzatsyya vybratsyonnykh mashyn*. Ekaterynburh URORAN – 135 p.

Стаття надійшла 08.10.2013.

УДК 622.235

**ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

В. Д. Кулинич

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Показано изменение свойств горной породы с использованием поверхностно-активных веществ как одного из способов управления процессом разрушения. Рассмотрено влияние поверхностно-активных веществ на прочностные характеристики горных пород. Подобрана оптимальная концентрация водного раствора поверхностно-активных веществ. Экспериментально установлено время, необходимое для насыщения породы растворами поверхностно-активных веществ. В соответствии с исследованиями показано, что специально подобранные концентрации растворов поверхностно-активных веществ и время их воздействия могут существенно влиять на свойства горных пород.