

8. Glushhenko V.N. Vliyanie sostava vodnoj fazy na svojstva obratnyh jemul'sij // Neftjanaja i gazovaja promyshlennost'. – 1983, №3. – S. 27 – 29.

9. Sposob ocenki stabil'nosti jemul'sionnyh vzryvchatyh veshhestv A.S. № 197518 / Kravchenko N.V., Buller M.F., Zajavl. № 3063369 11 aprelja 1983g, MKI G01 N 25/00.10. Mezhevich G.V., Jarmanova S.P., Buller M.F. Promyshlennye vzryvchatye veshhestva. Gazohromatograficheskoe opredelenie vody // Himichna promislovist' Ukraïni. – 2007. – № 3. – S.52 – 54.

*Стаття надійшла до редакції 12.02.2014 р.*

УДК 622.235

**Т. В. Гребенюк, к. т. н., ас. (НТУУ «КПІ»), К. К. Ткачук, д. т. н., доц. (НТУУ «КПІ»), В. Г. Демешчук, к. т. н. (НТУУ «КПІ»)**

## **МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІВ НАПРУЖЕНЬ НАВКОЛО ШПУРА ПРІ СТАТИКО-ДИНАМІЧНОМУ МЕТОДІ ВИДОБУВАННЯ КАМ'ЯНИХ БЛОКІВ**

**T. V. Grebeniuk, Ph.D in eng. sc., as. (NTUU «KPI»), K. K. Tkachuk dr. of tech. sc., assoc. prof. (NTUU «KPI»), V. L. Demeshchuk, Ph.D in eng. sc. (NTUU «KPI»)**

## **BLAST-HOLE TENSION FIELDS RESEARCH UNDER STATIC-DYNAMIC METHOD OF THE BLOCK STONES EXTRACTION**

*Розроблена методика для експериментального дослідження взаємодії полів напружень при видобутку кам'яних блоків статико-динамічним шпуровим методом.*

**Ключові слова:** поле напружень, шпур, деформація, кам'яний блок, тензодатчик.

*Разработана методика для экспериментального исследования взаимодействия полей напряжений при добыче каменных блоков статико-динамической шпуровым методом.*

*Экспериментально обнаруженный характер «размывания» импульса указывает на то, что импульсы, которые переносятся динамическими возмущениями, могут внести вклад в зарождение трещины на контуре статически нагруженного шпура.*

**Ключевые слова:** поле напряжений, шпур, деформация, каменный блок, тензодатчик.

*Experimental investigation method of static and dynamic stress fields interaction while block stones extraction by static-dynamic blast-hole method is developed.*

*Experimentally discovered effect of the pulse «erosion» indicates that the impulses transferred by dynamic perturbations can make only a minor contribution to the emergence of crack in the edge of statically loaded hole.*

**Keywords:** stress field, blast-hole, deformation, block stone, strain gauge.

**Вступ.** Експериментальне дослідження принципу взаємодії полів напружень при статичних і динамічних навантаженнях дає підставу вважати,

що цей принцип з певними припущеннями може бути використаний для прогнозу напруженого стану середовищ при комбінованому статико-динамічному впливі. Проте це положення має бути перевірене експериментально.

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

**Викладення матеріалу.** Відомо, що ряд шпурів створює в блоці гірської породи направлену штучну анізотропію [1, 2], яка сприяє утворенню лінії найменшого опору і площини відколювання в запланованому напрямку. Проведене експериментальне моделювання процесу тріщиноутворення для випадку рівномірного статичного навантаження стінок двох сусідніх шпурів по лінії очікуваного відколу [3].

Маючи відпрацьовані методики дослідження дії статичних навантажень на стінки отвору моделі і поширення динамічних збурень проведемо експериментальне моделювання взаємодії статичних і динамічних полів напружень при комбінованому, статико-динамічному способі відбійки кам'яних блоків.

Після відпрацювання методики вимірювання параметрів динамічних збурень, які поширюються по пластині від удару стальної кульки, в пластині був просвердлений отвір. Центр отвору діаметром  $d = 0,016$  м знаходився на прогнозованій лінії відколювання, вздовж якої був наклеєний тензорезистор марки КТД-7Б на відстані  $0,020$  м від центра отвору. Моделювання дії ударних джерел збурення виконувалося за допомогою сталених кульок різної ваги, які скидалися з висоти  $H = 0,19$  м на пластину в точку розташовану на лінії прогнозованого відколювання. Виходячи з геометричної подібності ця точка знаходилась на відстані  $l = 0,075$  м від центру отвору, що відповідає середньому значенню відношення діаметра шпура до відстані між шпурами, яке прийнято в практиці відбійки кам'яних блоків.

В серії експериментів використовувалися сталені кульки трьох типів:

- 1 –  $D = 0,0145$  м, вага –  $0,0119$  кг;
- 2 –  $D = 0,0205$  м, вага –  $0,0358$  кг;
- 3 –  $D = 0,0230$  м, вага –  $0,0497$  кг.

Перша серія досліджень була проведена для випадку, коли отвір в пластині був вільним від статичних навантажень. Враховуючи повторюваність між результатами однотипних дослідів середні величини деформацій  $\varepsilon_r$  обраховувалися за трьома однаковими експериментами. Експерименти проводилися в наступній послідовності: спочатку для вільного отвору було проведено осцилографування динамічних деформаційних процесів  $\varepsilon_r^d$  в точці наклеєнки тензодатчика при трикратному скиданні сталених кульок різної ваги; потім в процесі дослідів стінки отвору покроково статично навантажувалися, і для кожного кроку статичного навантаження проводилося осцилографування спільних (статичних і динамічних  $\varepsilon_r^c + \varepsilon_r^d$ ) деформаційних процесів в точці

наклеювання тензодатчика при трикратному скидуванні сталених кульок різної ваги, за допомогою першого променя осцилографа з пам'яттю GDS - 806S ~ 8.

Підкреслимо, що вимірювання статичних деформацій при покроковому статичному навантаженні проводилося з використанням того самого тензодатчика і другого променя вказаного осцилографа. Це дало можливість оцінювати статичні деформації з такою самою приладною похибкою як і спільну деформацію при взаємодії полів статичних і динамічних напружень.

На рис. 1 наведена осцилограма, яка характеризує залежність динамічних деформацій від часу, які виникають в місці наклеювання тензорезистора при скиданні сталеві кульки вагою 0,0119 кг. При цьому отвір залишається вільним від статичних навантажень.

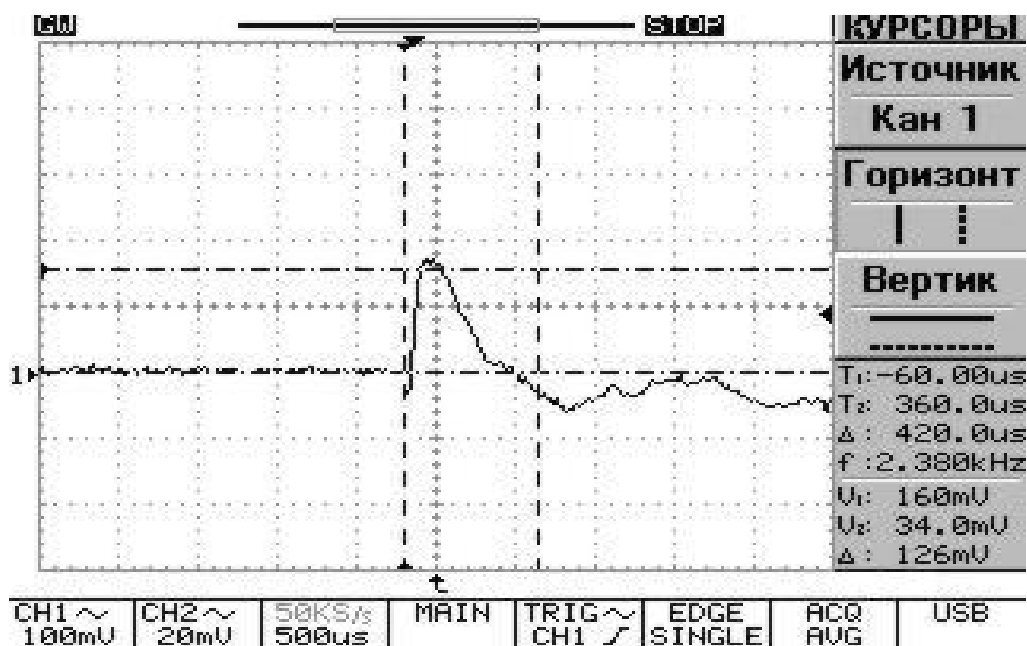


Рис. 1. Залежність  $\varepsilon_r^d(t)$  при дії кульки вагою 0,0119 кг при вільному контурі отвору

На рис. 2 наведена осцилограма, яка характеризує залежність спільних деформацій ( $\varepsilon_r^c + \varepsilon_r^d$ ) в місці наклейки тензорезистора від часу, які виникають при скиданні сталеві кульки вагою 0,0119 кг. Ця осцилограма відповідає максимальній величині статичного навантаження, яке прикладалося до контуру отвору  $P = 3$  МПа.

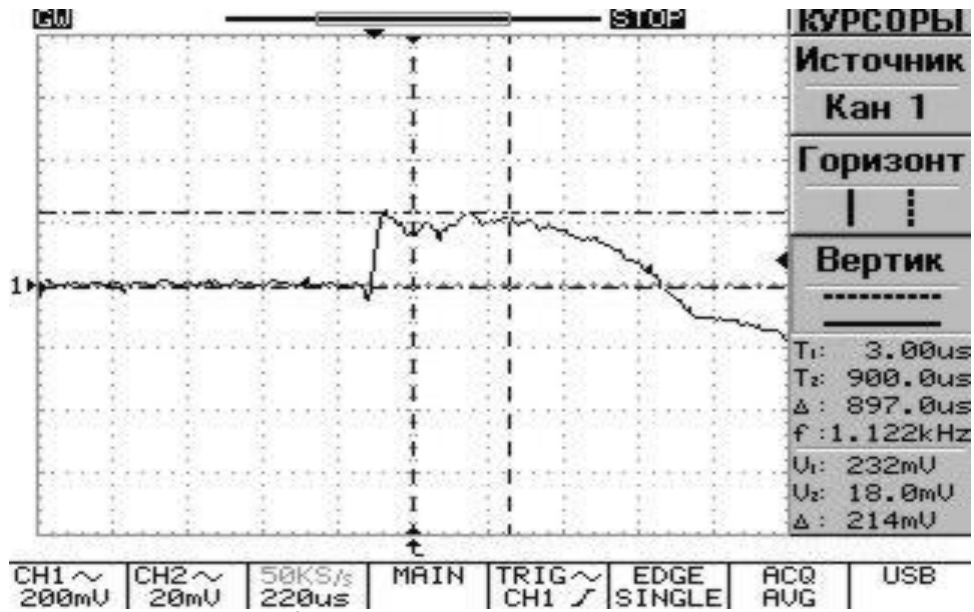


Рис. 2. Залежність  $(\epsilon_r^c + \epsilon_r^d)(t)$  при дії кульки вагою 0,0119 кг і рівномірному статичному навантаженні контура отвору  $P=3$  МПа

Аналіз експериментальних даних вказує на те, що принцип суперпозиції не завжди є правомірним при визначенні спільної дії статичних і динамічних навантажень тому, що поля напружень цих чинників носять нелінійний характер. Оскільки реєстрація деформацій  $\epsilon_r$  проводилася в одній і тій же точці на віддалі 0,020 м від центру отвору, а статичне поле напружень нелінійно змінювалося в цій точці в залежності від величини статичного навантаження  $P$  на контур отвору, то і взаємодія динамічних і статичних полів напружень також носить нелінійний характер. Окрім цього взаємодія динамічних і статичних полів напружень з кожним наступним кроком статичного навантаження починалася далі від точки наклейки тензодатчика. В попередньо навантаженому середовищі швидкість динамічних збурень збільшувалася, проходило «розмивання» імпульсу (амплітуда зменшувалася, а час дії збільшувався), що спостерігається на осцилограмах наведених на рис. 1-2.

В таблицях 1 – 3 наведені дані експериментів для покрокових статичних навантажень, які генеруються при скиданні сталених кульок вагою 0,0119 кг; 0,0358 кг; 0,0497 кг відповідно.

Таблиця 1. Середні значення експериментальних вимірів для кульки вагою 0,0119кг

Амплітуда, мВ	$\Delta T$ , мкс	$\epsilon_r^c \cdot 10^3$	$(\epsilon_r^c + \epsilon_r^d) \cdot 10^3$	Імпульс $I$
126	420	0,00	0,42	176
185	515	0,20	0,62	319
188	580	0,21	0,63	365
192	623	0,22	0,64	399
196	640	0,24	0,66	422
200	725	0,25	0,67	486
208	815	0,27	0,69	562
214	897	0,29	0,71	636

Таблиця 2. Середні значення експериментальних вимірів для кульки вагою 0,0358 кг

Амплітуда, мВ	$\Delta T$ , мкс	$\varepsilon_r^c \cdot 10^3$	$(\varepsilon_r^c + \varepsilon_r^d) \cdot 10^3$	Імпульс $I$
160	420	0,00	0,53	223
205	580	0,15	0,68	394
221	633	0,21	0,74	468
224	640	0,22	0,75	480
229	680	0,23	0,76	516
231	741	0,24	0,77	571
236	890	0,26	0,79	703
240	980	0,27	0,80	784

Таблиця 3. Середні значення експериментальних вимірів для кульки вагою 0,0497кг

Амплітуда, мВ	$\Delta T$ , мкс	$\varepsilon_r^c \cdot 10^3$	$(\varepsilon_r^c + \varepsilon_r^d) \cdot 10^3$	Імпульс $I$
195	520	0,00	0,65	338
216	580	0,07	0,72	418
227	640	0,11	0,76	486
230	657	0,12	0,77	499
232	700	0,13	0,78	546
236	733	0,14	0,79	579
260	910	0,21	0,86	783
280	1210	0,28	0,93	1120

В першому стовпчику записані амплітуди сумарних деформацій при статико-динамічному навантаженні, мВ, в другому – час дії сумарних деформацій, мкс, в третьому – значення деформацій при статичному навантаженні, в четвертому – сумарна значення деформацій при статико-динамічному навантаженні, в п'ятому – величина імпульсу динамічних збурень.

Використовуючи отримані дані, побудовані графічні залежності сумарної відносної деформації  $(\varepsilon_r^c + \varepsilon_r^d)$  і спільного імпульсу  $I$  від нормального навантаження контура отвору (рис. 3). На рис. 3 по лівій ординаті вказані значення сумарних відносних деформацій  $(\varepsilon_r^c + \varepsilon_r^d)$ , а по правій ординаті значення імпульсів  $I$ , які генеруються динамічними збуреннями.

Виходячи з аналізу графічних даних можна стверджувати, що залежність сумарних деформацій  $(\varepsilon_r^c + \varepsilon_r^d)$  майже лінійно збільшується із збільшенням нормального статичного навантаження на контур отвору з подібним коефіцієнтом пропорційності для динамічної дії сталевих кульок різної ваги. При цьому залежність імпульсів  $I$  має явно нелінійний характер (рис. 3).

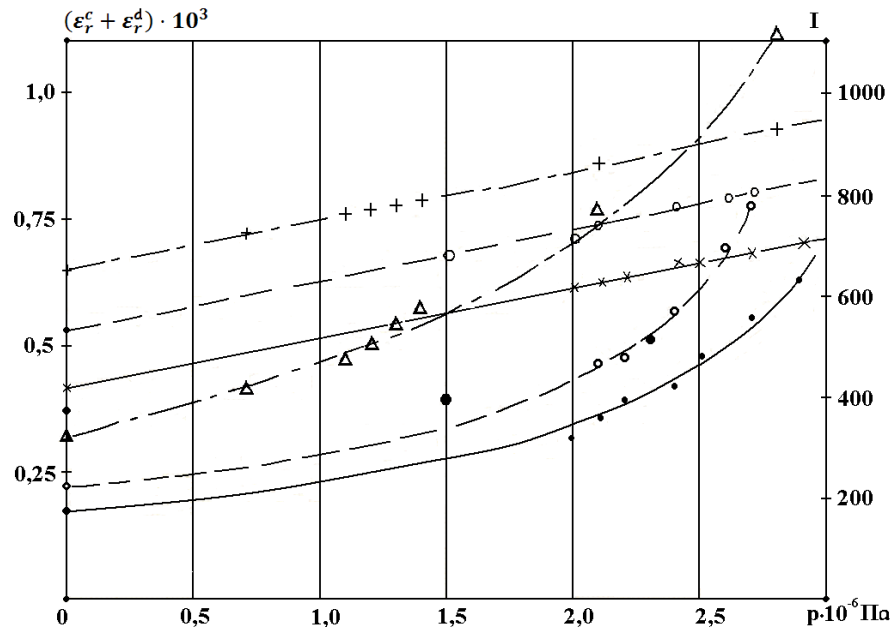


Рис. 3. Залежність сумарних деформацій і імпульсу від статичного навантаження на контур отвору

Таке явище можна пояснити тим, що інтенсивна взаємодія динамічних і статичних полів напружень з кожним наступним кроком статичного навантаження починалася далі від точки наклеювання тензодатчика і по попередньо навантаженому середовищі швидкість динамічних збурень збільшувалася зі збільшенням параметрів поля статичних напружень середовища.

Це явище знайшло своє теоретичне підтвердження. Відомо, що зміна швидкості збурень динамічного навантаження пропорційна напруженню або деформації в досліджуваному об'єкті. При розтягуючих напруженнях швидкість збурень динамічних навантажень зменшується, а при стискаючих – збільшується. На рис. 4 зображено теоретично розраховані графіки розподілу полів напружень для поодинокого шпура в залежності від відстані  $r$  до контуру отвору для трьох величин статичного навантаження контуру.

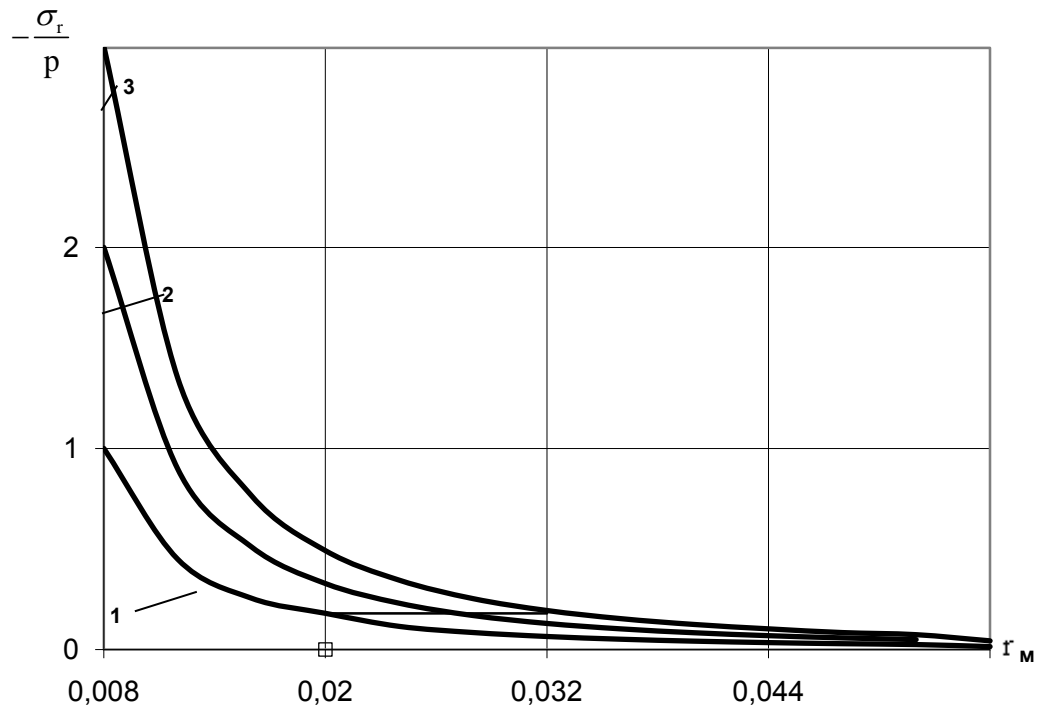


Рис. 4. Характер розподілу статичних напружень в залежності від відстані до контуру отвору (крива 1 -  $P = 10^6$  Па; 2 -  $P = 2 \cdot 10^6$  Па; 3 -  $P = 3 \cdot 10^6$  Па)

З графіка видно, що при дії статичного навантаження  $P = 10^6$  Па на контур отвору, в місці наклеювання тензорезистора ( $r = 0,02$  м) виникають стискаючі напруження  $|\sigma_r| = 0,2 \cdot 10^6$  Па. Уже в цій точці динамічні збурення рухаються до контура отвору з відповідним прискоренням по стиснутому середовищі, що сприяє зменшенню амплітуди і збільшенню часу дії спільного імпульсу  $I$ , який переноситься динамічним збуренням. При дії статичного навантаження  $P = 2 \cdot 10^6$  Па на контур отвору, починаючи з точки  $r = 0,028$  м, динамічні збурення будуть розповсюджуватися ще з більшою швидкістю ніж при попередньому статичному навантаженні контуру. Аналогічно збільшується швидкість динамічних збурень починаючи з точки  $r = 0,032$  м при дії статичного навантаження  $P = 3 \cdot 10^6$  Па на контур отвору. Слід зауважити, що наявність сусіднього шпура ще збільшить розміри статичного поля напружень, а отже і зону «розмивання» імпульсу  $I$ , що, в свою чергу, зменшить вірогідність зародження тріщин на контурі статично навантаженого шпура.

Оскільки з графіків рис. 4 видно, що залежність стискаючих напружень  $\sigma_r$  має суттєво нелінійний характер, що спричиняє нелінійне збільшення швидкості динамічних збурень і відповідно нелінійну залежність спільного імпульсу  $I$  від величини статичного навантаження  $P$  контура отвору ( див. рис. 3). Такий характер взаємодії статичних і динамічних полів напружень, що призводить до збільшення спільного імпульсу  $I$ , вказує на перспективність застосування статико-динамічного методу відколювання кам'яних блоків.



З графіка (рис. 4) видно, що амплітуда динамічних збурень різко зменшується при віддаленні від місця прикладення динамічного навантаження (вважаємо, що це контур шпура). Поля напружень, які створені статичними навантаженнями сусіднього шпура, також різко затухають (рис.4).

### **Висновки**

Ідея статико-динамічного методу відколювання кам'яних блоків полягає в створенні раціональних умов для зародження і поширення тріщини відколювання по лінії шпурів при взаємодії статичних і динамічних полів напружень. Експериментально виявлений характер «розмивання» імпульсу вказує на те, що імпульси, які переносяться динамічними збуреннями, можуть внести лише незначний вклад в зародження тріщини на контурі статично навантаженого шпура.

Збільшення швидкості динамічних збурень в зонах напружень від статично навантаженого шпура сприяє розповсюдженню динамічно ініційованих тріщин відколювання.

Аналіз взаємодії полів напружень від статичних і динамічних навантажень, показав, що ініціювання тріщин слід здійснювати за допомогою динамічних навантажень, а статично навантажені шпури будуть створювати сприятливі умови для їх стабільного розповсюдження.

### **Список використаних джерел**

1. Karasjov Ju.G. Prirodnyj kamen'. Dobycha blochnogo i stenovogo kamnja: [učeb. posobie dlja studentov vyssh. učeb. zav.] / Karasjov Ju.G, Bakka N.T. – Sankt-Peterburgskij gornyj in-t. SPb, 1997. – 428 s.
2. Tkachuk K.K. Analiz vplyvu yakosti burovykh robot na vydobutok blochnoho kameniu / K.K.Tkachuk, T.V. Hrebenuk // VI Mizhnarodna naukovopraktyčna konferentsiia molodykh včenykh, aspirantiv ta studentiv “Perspektyvy osvoyennia pidzemnoho prostoru”. Dnipropetrovsk, 2012. – 18-23 s.
3. Luhovoy P.Z. Eksperymentalne modeliuвання deformovanoho stanu navkolo poperechnoho peretynu tsylindrychnoho shpura pry yoho statychnomu navantazheni / P.Z. Luhovoy, K.K. Tkachuk, T.V. Hrebenuk // Problemy obchysliuvalnoi mekhaniky i mitsnosti konstruktsii. Zbirnyk naukovykh prats.-Dnipropetrovsk: Lira 2012. Vypusk-20. – 232 – 237 s.

*Стаття надійшла до редакції 20.03.2014 р.*