

3. Synbulatov, V.V. (2006) “Kinetics of saturation of rocks with active solutions”, *Materialy Uralskoy gornopromyshlennoy dekady*, [Materials of Ural mining decade], Ekaterinburg, UGGU, April 3–13, 2006, pp. 19–20.

4. Komir, V.M., Doludareva, Ya.S., Pejeva, I.Ed., Myslitskiy, S.M. (2004) “Influence of pulse non-destructive loads on change of the strength characteristics of the rocks”, *Visnyk Kremenchutskogo derzavnogo politehnychnogo universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskogo. Naukovi pratsi KDPU*, vol. 4, no. 27, pp. 135–138.

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. Kozlovskaya, T.F., Lemizhanskaya, V.D., Doludareva, Ya.S. (2013) “Influence of surface-active substances and their solutions on intensity of rocks crushing”, *Visnyk Kremenchutskogo natsionalnogo universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskogo*, vol. 5, no. 82, pp. 124–129.

7. ISRM Commission on Testing Methods (1985). Suggested method for determining point load strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 22, pp. 51–60.

Стаття надійшла 11.10.2013.

УДК 622.236.9, 622.271.2.

### **РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ НАПРЯМОМ РОЗКОЛУ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НЕВИБУХОВИХ РУЙНУЮЧИХ СУМІШЕЙ**

**І. О. Фоменко, О. І. Фоменко, І. М. Ковтун, А. І. Ковтун**

Національний технічний університет України «КПІ»

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: kav2012@ukr.net

Виконано теоретичні дослідження технологічних варіантів керування напрямом розколу блочного каменю, при використанні пластин-вставок в шпурах з невибуховими руйнуючими сумішами. Керування базується на підборі ширини пластин-вставок, або за рахунок повороту пластини-вставки навколо вертикальної осі з урахуванням анізотропних властивостей каменю. Наведені дослідження дозволяють забезпечити розкол блочного каменю вздовж осі з максимальною, або мінімальною міцністю. Вирішення поставленої задачі розширить технологічні можливості використання НРС.

**Ключові слова:** видобуток гранітних блоків, невибухові руйнуючі суміші, напрямок розколу.

### **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЕМ РАЗКОЛА БЛОЧНОГО КАМНЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕВЗРЫВАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ СМЕСЕЙ**

**И. А. Фоменко, А. И. Фоменко, И. Н. Ковтун, А. И. Ковтун**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: kav2012@ukr.net

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Выполнены теоретические исследования технологических вариантов управления направлением разкола блочного камня, при использовании пластин-вставок в шпурах невзрывчатыми разрушающими составами. Управление основывается на подборе ширины пластин-вставок или за счет поворота пластины-вставки вокруг вертикальной оси с учетом анизотропных свойств камня. Проведенные исследования позволяют обеспечить раскол блочного камня вдоль оси с максимальной или минимальной прочностью. Решение поставленной задачи расширит технологические возможности использования НРС.

**Ключевые слова:** добыча гранитных блоков, невзрывчатые разрушающие смеси, направление разкола.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Промислове використання невибухових руйнуючих сумішей (НРС) для видобутку блочного каменю, руйнування негабаритів або старих фундаментів на будівництві продовжується вже більше 25 років. Досвід використання НРС підтвердив перспективність ряду розроблених технологій. Однак практика застосування НРС довела, що для їх широкого застосування необхідно вирішити одразу цілий комплекс наукових та практичних задач, а саме:

1. Гарантувати впевнене керування напрямом розколу породи.
2. Уникнути викидів (пострілів) НРС з шпурів при високих позитивних температурах, що являє собою значну небезпеку для працюючих.
3. Забезпечити за рахунок конструкції технологічного обладнання можливість попереднього стискання НРС в шпурі перед початком кристалізації і за рахунок цього підвищити потенційні можливості суміші (підвищення тиску).
4. Забезпечити простоту конструкції обладнання та технологічність його виготовлення, що дасть можливість виробляти його безпосередньо в механічній майстерні любого кар'єру і забезпечить значний економічний ефект.

Проведені в НТУУ «КПІ» пошукові дослідні та проектно-конструкторські роботи дозволили розробити таке обладнання, конструкція якого в даний час патентується.

Як було зазначено вище першою задачею при використанні НРС є можливість керування напрямом розколу породи. Один з шляхів, який може забезпечити таке керування є нарізання на стінках шпурів концентраторів напружень у вигляді трикутних заглиблень певної глибини. Ефективність використання концентраторів напружень досліджена, наприклад, в роботах [1–3]. Однак на гранітних кар'єрах до цього часу широкого застосування концентратори напружень не знайшли із-за цілого ряду технологічних та конструкторських проблем. Насамперед це пов'язано з швидким абразивним зносом та малим строком служби твердосплавних пластин бурових коронок. Крім того на практиці мають місце систематичні заклинювання бурових коронок у шпурі, що пояснюється тільки поступовим рухом коронок та відсутністю обертання. Таким чином керування напрямом розколу породи за рахунок нарізання концентраторів напружень до останнього часу повністю не вирішено у гірничій галузі.

У роботі [4] представлений спосіб отримання направленої магістральної тріщини за рахунок використання спеціальних патронів з НРС. Однак ці патрони

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

не знайшли широкого використання в промисловості із-за слідуєчих конструктивних недоліків, а саме:

1. Конструкція патрону не виключає вибросу (пострілів) НРС з шпурів.
2. Конструкція патрону не передбачає попереднє стискання НРС до моменту кристалізації, що обмежує максимальний тиск.

Робота [5] описує конструкцію скваженої вставки для направленої руйнування монолітів за допомогою НРС. В площині вставки передбачені сквозні отвори, які повинні підвищити ефективність направляючої дії вставки. В реальних експлуатаційних умовах після кристалізації НРС та розколу моноліту для очищення вставки від НРС треба застосовувати ударний інструмент, що призводить до значних деформацій вставки та швидкої втрати її заданої форми.

Саме тому в даний момент такі вставки не знайшли широкого застосування.

Мета досліджень – провести аналітичний аналіз методів керування напрямом тріщиноутворення в шпурі з НРС за рахунок застосування пластини встановленої вздовж шпура. Аналіз повинен враховувати анізотропні властивості породи, а також товщину пластини-вставки.

На основі вирішення цієї задачі розробити конкретні технологічні рекомендації по керуванню напрямом тріщиноутворення.

**МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Для розробки та дослідження процесу керування напрямом розколу блочного каменя за рахунок розміщення в шпурі з НРС пластини-вставки було перш за все проаналізовано співвідношення рівнодіючих сил, що навантажують стінки шпура в залежності від товщини пластини-вставки, а також відносне зменшення максимальної рівнодіючої сили.

На рис. 1 зображена схема навантаження шпура з пластиною-вставкою. Пластина-вставка забезпечує нерівномірне навантаження стінки шпура по осях  $y$  та  $x$ , що призводить до виникнення максимальних розтягуючих напружень в точках  $a$  та подальшого тріщиноутворення в породі вздовж осі  $x$ .

Для наведеного нижче аналітичного аналізу був обраний поширений на гранітних кар'єрах діаметр шпура, а саме 40мм. Поширеність цього діаметру пояснюється перш за все його технологічними перевагами, так як цей діаметр можна отримати, як за рахунок машинного буріння, так і в ручному режимі за допомогою пневматичних перфораторів.

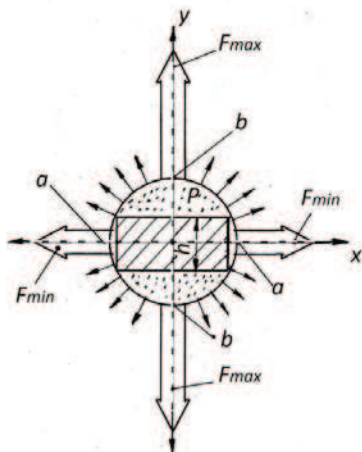


Рисунок 1 – Схема навантаження шпура з пластиною-вставкою невибуховою руйнуючою сумішшю, де  $P$  – тиск у шпурі; точки  $a$  і  $b$  – місце прикладення максимальної  $F_{max}$  та мінімальної  $F_{min}$  рівнодіючих сил; осі  $x$  і  $y$  – осі з максимальною та мінімальною міцністю породи;  $h$  – товщина пластини-вставки

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Аналіз був проведений для пластин-вставок товщиною 8; 10; 12 та 14 мм.

Залежність співвідношення сил, діючих на стінку шнура від товщини пластини-вставки, представлена на рис.2. Це співвідношення лежить в діапазоні від 1,22 (товщина 8мм) до 1,44 (товщина 14мм).

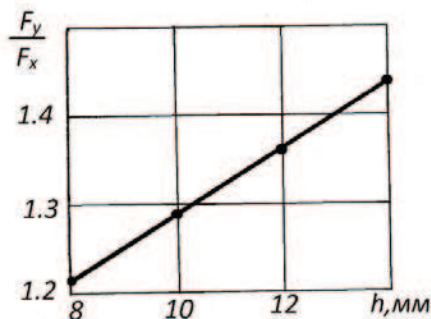


Рисунок 2 – Залежність співвідношення рівнодіючих сил в шпурі від товщини пластини-вставки

Більше співвідношення рівнодіючих сил підвищує вирогідність тріщиноутворення в породі по заданому напрямку, що треба враховувати при наявності в породі природних дефектів. Менше співвідношення сил зменшує вирогідність тріщиноутворення по заданому напрямку.

На рис. 3 наведена залежність відносного зменшення максимальної рівнодіючої сили від товщини пластини-вставки. Це зменшення лежить в діапазоні 0,99-0,93. Слід враховувати, що збільшення товщини пластини-вставки з одного боку підвищує вирогідність тріщиноутворення в породі по заданому напрямку, а з другого боку зменшує об'єм НРС в шпурі, що може негативно впливати на ширину отриманої тріщини.

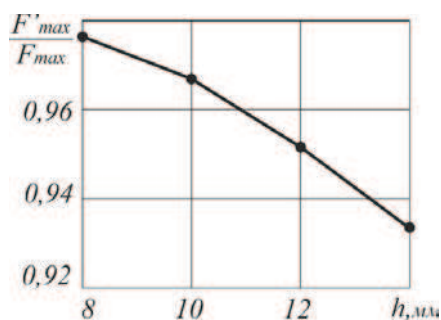


Рисунок 3 – Залежність зменшення максимальної рівнодіючої сили в шпурі від товщини пластини-вставки, де  $F_{max}$  – максимальна сила при відсутності пластини,  $F'_{max}$  – при наявності пластини-вставки

Таким чином використання пластини-вставки для керування напрямом тріщиноутворення в породі має свої позитивні та негативні моменти, а тому не виключено, що при застосуванні такої технології необхідно буде приймати компромісні рішення.

Ще одним важливим фактором при видобутку природного каменя за допомогою НРС є урахування анізотропії породи. Саме анізотропія разом з схемою

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

нерівномірного навантаження стінки шпура диктує технологічні прийоми керування напрямом тріщиноутворення в породі.

Аналітичний аналіз технологічних прийомів керування напрямом розколу природного каменю можна почати з окремого випадку, коли вирогідність тріщиноутворення буде однаковою (50 % на 50 %), як по осі  $x$  та і по осі  $y$ . Такий випадок представлений на рис. 4.

Як видно з наведених графіків, процес кристалізації НРС протікав таким чином, що критичні напруження в точках  $a$  та  $b$  досягли свого значення в один час, а саме в момент  $t_{mp}$ . Таким чином теоретично тріщиноутворення повинно одночасно відбутися, як по осі  $x$  так і по осі  $y$ .

Розглянемо можливі варіанти технологічного процесу керування напрямом розколу породи.

Наприклад згідно з технічним завданням заданий напрям розколу породи вздовж осі  $y$ , яка має мінімальну міцність  $[\sigma_b]$ .

Завдання полягає в тому, щоб допустимі напруження  $[\sigma_b]$  були отримані в точках  $b$  раніше ніж напруження  $[\sigma_a]$  в точках  $a$  (див. рис.5).

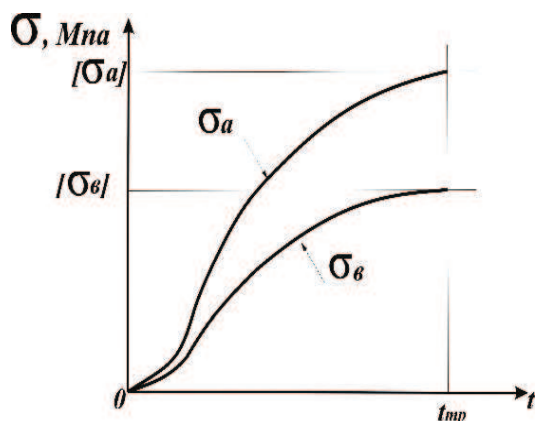


Рисунок 4 – Окремий випадок невизначеності напрямку утворення тріщин у породі, де  $[\sigma_a]$  та  $[\sigma_b]$  – допустимі напруження на розтягування в точках  $a$  та  $b$  на стінці шпура (див.рис.1);  $t_{mp}$  – час кристалізації НРС до моменту тріщиноутворення

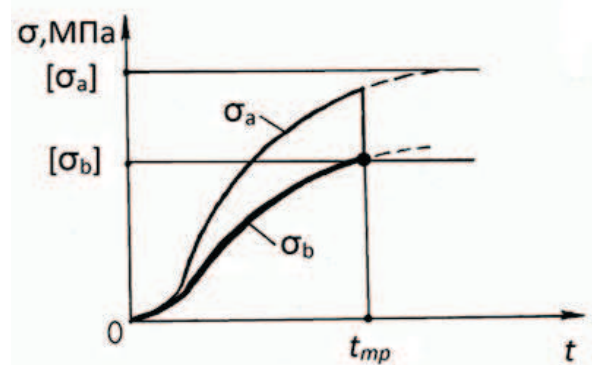


Рисунок 5 – Керування напрямом тріщиноутворення вздовж осі з мінімальною міцністю за рахунок зменшення товщини пластини-вставки

Логіка керування полягає в тому, щоб за рахунок зменшення товщини пластини-вставки, яка впливає на співвідношення сил, які діють по осях  $x$  та  $y$  (див. рис.2), забезпечити виконання слідуєчої нерівності в момент досягнення в точках  $b$  напружень  $[\sigma_b]$ :

$$\frac{[G_a]}{[G_b]} \gg \frac{F_{\max}}{F_{\min}}$$



## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Другим варіантом досягнення поставленої мети (гарантувати тріщиноутворення вздовж осі  $y$ ) є керування напрямом розколу за рахунок повороту пластини-вставки на  $90^\circ$  в порівнянні зі схемою навантаження, яка представлена на рис. 1.

Після повороту пластини-вставки на  $90^\circ$  отримаємо слідуючі залежності динаміки зростання напружень  $\sigma_a$  та  $\sigma_b$  у часі (див. рис.6).

Як видно з наведених графіків допустимі напруження  $[\sigma_b]$  в точках  $b$  будуть отримані за рахунок дії сил  $F_{\max}$ , які перевищують і випереджають сили  $F_{\min}$ .

На рис. 7 представлена технологія керування напрямом розколу породи, яка забезпечує тріщиноутворення в точках  $a$  що лежать по осі  $x$  з максимальною міцністю.

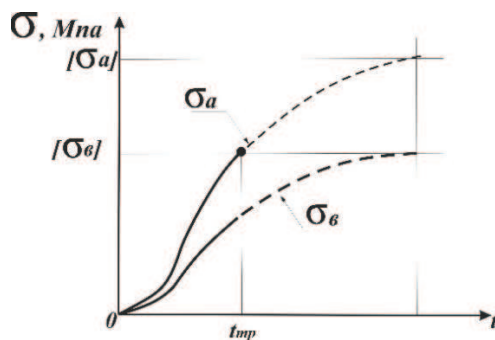


Рисунок 6 – Керування направленням тріщиноутворення вздовж осі  $z$  з мінімальною міцністю за рахунок повертання пластини- вставки на  $90^\circ$

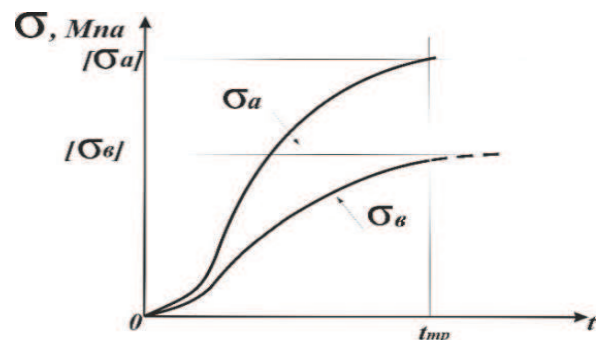


Рисунок 7 – Керування направленням тріщиноутворення вздовж осі  $z$  з максимальною міцністю за рахунок збільшення товщини пластини-вставки

Керування напрямом тріщиноутворення у данному випадку було забезпечено за рахунок збільшення товщини пластини-вставки, що в свою чергу вплинуло на співвідношення сил  $\frac{F_{\max}}{F_{\min}}$  (див. рис. 2).

Умовою досягнення поставленої мети по розколу породи вздовж осі  $x$  з максимальною міцністю є виконання нерівності:

$$\frac{F_{\max}}{F_{\min}} > \frac{[G_a]}{[G_b]}$$

### ВИСНОВКИ:

1. В результаті проведених аналітичних досліджень доведено, що для направлено розколу монолітів при використанні пластин-вставок в шпурах з невибуховими руйнуючими сумішами, для гарантування заданого напрямку розколу необхідно враховувати анізотропні властивості породи.

2. Керування напрямом розколу можна здійснювати не тільки за рахунок повороту пластини-вставки навколо осі шпура, але й за рахунок підбору товщини пластини-вставки в залежності від анізотропних властивостей породи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня // Учебное пособие для студентов высш. учеб. зав.– Санкт-Петербургский горный институт. – СПб, 1979. – 428 с.
2. Відокремлення монолітів за допомогою шнурів, які мають профільні надрізи в площині передбачуваного відколу/ П.З. Луговий, О.І.Фоменко// 28 міжнародна наукова конференція ім. академіка С.А. Христановича, 22–28 вересня 2008: тези докладів. – Алушта, 2008. – С. 23–26.
3. Определение оптимальных параметров заряда для контурного взрывания / В.В. Воробьев, В.В. Костин, В.Е. Проценко // Збірник «Сучасні ресурсоенергоберігаючі технології гірничого виробництва». – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського.– Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 2/2011 (8). – С. 39–44.
4. І.Г. Сахно, М.М. Касьев Патент на винахід №100062, МПК(2006.01) E21C 37/06. Спосіб руйнування гірських порід невибуховими руйнуючими сумішами й патрон для його реалізації / -а. 201100476,- 2012,- бюл.21 -5с.
5. В.И. Штеле Авторское свидетельство СССР №1798495. Скважинная вставка для направленного разрушения монолитов разширяющимися веществами. -1993- бюл. №8.

**DEVELOPMENT AND STUDY OF CONTROL OF WALL STONE RUPTURE DIRECTION WITH THE USE OF DESTRUCTIVE MEDIA**

**I. Fomenko, O. Fomenko, I. Kovtun, A. Kovtun**

National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic institute "KPI"  
prosp. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: kav2012@ukr.net

Develop theoretical study variant management control procedure direction cleft block stone of one inexplusive destroying composition (IDC). Management anticipate picking up width inset, take into account aeolotporicpropty stone.

**Key words:** inexplusive destroying composition ,directional split, booty of granit blocks.

REFERENCES

1. Karasev U. G. (1997) *Prirodnui kamen. Dobuca blocnogo I ctenovogo kamny* [Natural stone. Extraction of wall stone and building block]. Tutorial for universities. St. Petersburg Mining Academy. Spb, Russia.
2. Lugovyy P. Z. (2008) " Separation of solid rocks which have profiled cuts in the working plane through the use of cords". *28 megdynarodnay naycnay konferenciyy S.A. Hristianovich* [Abstracts of International scientific conference Deformation and Destruction of Materials named for member of Academy of Sciences S. A. Hristianovich]. 22-28 September 2008: abstracts - Alushta: 2008 pp 12–15.
3. Vorobyov V.V., Kostin V.V., Protsenko V.E. (2011) " Determination of optimal size of explosive charges for contour blasting" *The collection «Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry» Research and production journal:*

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University: Kremenchuk: KrNU,*  
vol. 2 , no. 8, pp. 39–44.

4. Sakhno, I.G., Karasev, M.M. (2011) Invention Patent №100062, МРК(2006.01)E21C37/06: "Method of destruction of rocks with the use of non-explosive mixtures and fixture for it's usage". Ukraine, 201100476, application dated 17.01.2011, published 12.11.2012, bulletin 21, page 5.

5. Stelle, V. I.(1993) Certificate of authorship of USSR №1798495. Borehole insertion for directed destruction of monoliths by expanding media. Precedence from 24.05.1990, published 28.02.1993.

Стаття надійшла 14.10.2013.

УДК 622.235

### **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРОСЛОЕК МЕЖДУ ЗАРЯДОМ И НАГРУЖАЕМОЙ СРЕДОЙ НА ЕЕ ДЕФОРМАЦИЮ ПРИ ВЗРЫВЕ**

**В. Н. Долударев**

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

Применение высокобризантных взрывчатых веществ при добыче нерудных полезных ископаемых приводит к переизмельчению отбиваемой породы в ближней к заряду зоне. Из-за этого повышается выход некондиционных фракций, что снижает экономическую эффективность работы горнодобывающих предприятий. Этого можно избежать, размещая на границе раздела взрывчатых веществ с нагружаемой средой различные инертные и энергоактивные материалы. Таким образом достигается снижение пика давления в зарядной полости, устраняется непосредственный контакт взрывчатого вещества с нагружаемой средой и, как следствие, уменьшается переизмельчение породы в ближней к заряду зоне. Проведена экспериментальная сравнительная оценка влияния прослоек из разных материалов между зарядом взрывчатого вещества и нагружаемой средой на деформацию данной среды в лабораторных условиях.

**Ключевые слова:** бризантное воздействие, прослойка, газообразующее вещество, деформация.

### **ВПЛИВ РІЗНИХ ПРОШАРКІВ МІЖ ЗАРЯДОМ І СЕРЕДОВИЩЕМ, ЩО НАВАНТАЖУЄТЬСЯ НА ЙОГО ДЕФОРМАЦІЮ ПРИ ВИБУХУ**

**В. М. Долударєв**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Застосування високобризантних вибухових речовин при видобутку нерудних корисних копалин призводить до переподрібнення відбитої породи в ближній до заряду зоні. Через це підвищується вихід некондиційних фракцій, що знижує економічну ефективність роботи гірничодобувних підприємств. Цього можна