

**ОЦЕНКА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗАБОЙКИ ПРИ ВЗРЫВАХ  
СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С РЕЗУЛЬТАТАМИ  
ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

**В. Д. Воробьев, А. И. Крючков, О. Я. Твердая**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ул. Борщаговская, 115, г. Киев, 03056, Украина.

E-mail: tverdaya@ukr.net

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению скорости движения забойки при взрыве скважинных зарядов взрывчатых веществ различных конструкций. Определена область использования данного критерия при оценке эффективности взрывов различных конструкций зарядов взрывчатых веществ в массивах скальных пород. Полученные теоретические зависимости установлены с использованием уравнения состояния продуктов детонации в процессе взрыва зарядов различных конструкций.

**Ключевые слова:** взрыв, взрывчатое вещество, заряд, забойка, скорость движения, карьер.

**ОЦІНКА ШВИДКОСТІ РУХУ ЗАБІЙКИ ПРИ ВИБУХАХ  
СВЕРДЛОВИНИХ ЗАРЯДІВ У ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ З РЕЗУЛЬТАТАМИ  
ПОДРІБНЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

**В. Д. Воробйов, А. І. Крючков, О. Я. Тверда**

Національний технічний університет України «КПІ»

вул. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна.

E-mail: tverdaya@ukr.net

Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень із визначення швидкості руху забійки при підриванні свердловинних зарядів вибухових речовин різноманітних конструкцій. Визначено область використання даного критерію при оцінці ефективності вибухів різноманітних конструкцій зарядів вибухових речовин в масивах скельних порід. Отримано теоретичні залежності встановлені із використанням рівняння стану продуктів детонації в процесі вибуху зарядів різноманітних конструкцій.

**Ключові слова:** вибух, вибухова речовина, заряд, забійка, швидкість руху, кар'єр.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Повышение полезной энергии взрыва на дробление горных пород достигается при более длительном импульсе взрыва с меньшей величиной давления. Этот общеизвестный физический эффект у специалистов-взрывников уже давно не вызывает сомнения и реализуется в практике с помощью различных методов управления энергией взрыва [1]. При этом степень трансформации энергии взрыва в разрушаемый массив горных пород зависит от времени запираания газообразных продуктов детонации (ПД) в скважине (шпуре) применением забойки. От качества материала забойки зависит

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

и эффективность дробящего действия взрыва. По данным [2] с помощью специальной конструкции забойки достигнуто повышение коэффициента полезного действия взрыва на 40% и, соответственно, качества горной массы.

В работах [3, 4] приведены данные по эффективности действия забойки с оценкой по времени запираания ПД, которые могут быть использованы в расчетах при проектировании параметров взрывных работ (ВР). В работе [1] изложены результаты экспериментальных исследований по влиянию различного материала забойки на скорость ее движения  $V_{\partial}$  при взрыве заряда. Однако оценка различных конструкций зарядов по критерию  $V_{\partial}$  в настоящее время в достаточной степени не обоснована.

Цель работы – выполнить теоретические исследования по оценке скорости движения забойки при взрыве с экспериментальной проверкой эффективности действия различных конструкций зарядов в промышленных условиях.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Выбор рациональной величины забойки скважинных зарядов при проектировании параметров ВР должен быть научно обоснован. При этом забойка должна обеспечивать максимальную плотность запираания ПД в скважине [3]. Кроме этого эффект запираания ПД, обуславливающий скорость движения забойки, высоту ее подъема и время запираания, зависит и от конструкции заряда взрывчатого вещества (ВВ).

Наличие в зарядах забойки способствует увеличению продолжительности импульса взрыва за счет потери времени в зоне уплотнения ее материала. В свою очередь это влияет на время вылета забойки из скважины, что увеличивает общее время воздействия взрыва на разрушаемый горный массив. Сравнительная оценка эффективности действия взрыва зарядов различных конструкций может быть выполнена по величине скорости движения  $V_{\partial}$  забойки, обуславливающей амплитудно-временные параметры взрывного импульса [5]. Если допустить отсутствие трения материала забойки о боковую поверхность скважины и рассматривать движение забойки под действием ПД и сопротивления воздуха над забойкой, тогда

$$V_{\partial} = l_3 \sqrt{2g / l_{заб}} \cdot f^{1/2}(x), \quad (1)$$

где  $l_3$  – длина заряда, м;  $l_{заб}$  – длина забойки, м;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $f(x)$  – функция от относительной величины поднятия  $x$  нижнего основания забойки.

Входящие в функцию  $f(x)$  формулы (1) параметры и коэффициенты выражаются через детонационные характеристики ВВ и позволяют рассмотреть эффективность взрыва зарядов различных конструкций. При этом функция имеет вид:

$$f(x) = \exp[-\bar{K}_c(x-1)] \left\{ -c_1 - \frac{\bar{h}}{\bar{K}_c} \exp[\bar{K}_c(x-1)] + \right. \\ \left. + K_{\alpha} x^{1-\alpha} \sum_{i=1}^3 d_{i\alpha} x^{i-1} + K_{\beta} x^{1-\beta} \sum_{i=1}^3 d_{i\beta} x^{i-1} \right\}, \quad (2)$$

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

где  $\alpha, \beta$  – коэффициенты показателя степени, входящие в уравнение состояния ПД при взрыве заряда ВВ (для тротила  $\alpha=3,123$ ;  $\beta=1,25$ );

$$\left. \begin{aligned} \bar{K}_c &= (c_x \bar{\rho}_B \bar{h}_0) = (c_x \beta_B h_0) / (\rho_1 h); \\ \bar{c}_1 &= \bar{h} / \bar{K}_c + K_\alpha \sum_{i=1}^3 d_{i\alpha} + K_\beta \sum_{i=1}^3 d_{i\beta}; \\ \bar{h} &= h / h_0; K_\alpha = A \rho_n^\alpha / \rho_n; \\ K_\beta &= B \rho_n^\beta / \rho_n, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $A$  и  $B$  – коэффициенты, входящие в уравнение состояния ПД;

$$\left. \begin{aligned} d_{i\alpha} &= f_i(\bar{K}_c); d_{1\alpha} = K_{1\alpha} / (1 - \alpha); d_{2\alpha} = K_{2\alpha} / (2 - \alpha); \\ d_{3\alpha} &= K_{3\alpha} / (3 - \alpha); \\ K_{1\alpha} &= 1 - \bar{K}_c + 1 / 2 \bar{K}_c^2; K_{2\alpha} = \bar{K}_c (1 - \bar{K}_c); K_{3\alpha} = 1 / 2 \bar{K}_c^2; \\ d_{1\beta} &= f_i(\bar{K}_c); d_{1\beta} = K_{1\alpha} / (1 - \beta); d_{2\beta} = K_{2\alpha} / (2 - \beta); \\ d_{3\beta} &= K_{3\alpha} / (3 - \beta); i = 1, 2, 3. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для определения коэффициентов  $A$  и  $B$  оценим влияние многокомпонентного сыпучего ВВ на основе АС-ДТ с двумя добавками 1 и 2 на характер изменения давления ПД в скважине, используя уравнение состояния ПД [6]:

$$P = A \rho_{ПД}^{n_0} + B \rho_{ПД}^{\gamma_0+1}, \quad (5)$$

где  $P, \rho_{ПД}$  – текущие давление и плотность ПД;  $A, B, n_0, \gamma_0$  – константы, определяемые из системы уравнений [6, 7]. Из решения системы уравнений определяем константы уравнения состояния ПД:

$$B = \frac{P_n^{\gamma_0} \gamma_0^{-1} [\gamma_0 P_n + Q \rho_n \gamma_0 (1 - k_n)]}{\rho_n^{\gamma_0+1} [P_n (2\gamma_0 - k_n + 1) + Q \rho_n \gamma_0^2]}; \quad (6)$$

$$n_0 = \frac{P_n k_n - B \rho_n^{\gamma_0+1} (\gamma_0 + 1)}{P_n - B \rho_n^{\gamma_0+1}}; \quad (7)$$

$$A = \frac{P_n - B \rho_n^{\gamma_0+1}}{\rho_n^{n_0}}, \quad (8)$$

где  $P_n$  – начальное давление ПД;  $\rho_n$  – начальная плотность ПД (принимаяем  $\rho_n = \rho_0$ );  $k_n = n$  – показатель политропы ПД;  $Q = Q_f$  – фугасная теплота взрыва;  $\gamma$  – показатель адиабаты ПД.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Плотность ПД в цилиндрической полости бесконечной длины определяется по выражению:

$$\rho_{ПД} = \rho_0 (r_n / r_0)^{-2}, \quad (9)$$

где  $r_0, r_n$  – соответственно начальный и текущий радиусы полости.

Принимая  $\rho_0 = r_n / r_0$ , получаем  $\rho_{ПД} = \rho_0 (r_0)^{-2}$ .

Расчетные значения коэффициентов  $A, B, r_0$  и  $\gamma_0$  для многокомпонентных ВВ следующие.

ВВ-1:	ВВ-2:
$A=292,58; B=22199,68; n_0=2,356;$	$A=71,43; B=99366,89; n_0=2,52;$
$\gamma_0=0,279$	$\gamma_0=0,26$

Содержание компонентов в смесях (%) принято [8] для ВВ-1: АС-88; ДТ-2; добавка 1-2; добавка 2-8. Для ВВ-2: АС-88; ДТ-2; добавка 1-4; добавка 2-6.

Функциональные зависимости  $P_{ПД} = f(r_0)$  при содержании указанных компонент в смесях ВВ приведены на рис. 1.

Из анализа рис. 1 видно, что при одинаковых фиксированных значениях АС и ДТ с увеличением добавки 1 в смеси ВВ-1 и соответственном уменьшении добавки 2 (зависимость 1) импульс взрыва по сравнению с ВВ-2 уменьшается. При этом давление на фронте детонационной волны также снижается. С увеличением  $r_0$  снижение давления происходит более плавно, обуславливая увеличение полного импульса взрыва.

Таким образом, учитывая полученные расчетные характеристики для определения  $f(x)$ , представляется возможным оценить величину  $V_0$ , которую можно использовать в расчетах при проектировании параметров ВР или при решении различных задач геодинамики взрыва. Численные значения  $V_0$  и функции  $f(x)$  рассчитываются по специально разработанной программе.

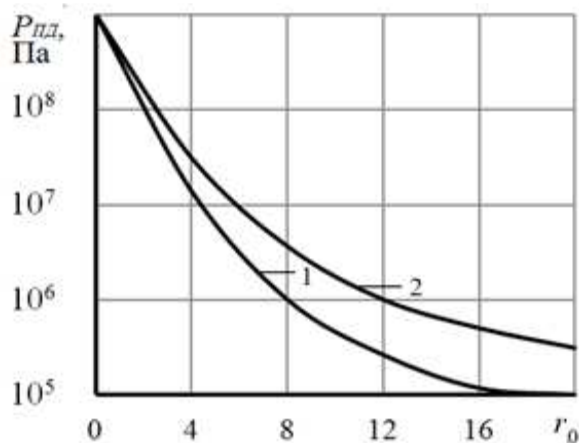


Рисунок 1 – Зависимость давления ПД от радиуса взрывной полости  $r_0$  при различном содержании компонентов в смесях ВВ-1 (1) и ВВ-2 (2)

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Определение величины  $V_d$  забойки проверялось при взрыве одиночных скважинных зарядов различных конструкций в карьере №1 Селещанского месторождения гранитов [5]. В качестве конструкций зарядов были приняты: сплошная и рассредоточенная инертными промежутками (ИП) от одного до трех. Диаметр заряда составлял 0,22 м, глубина скважины – 13,5 м, высота ИП – 0,5 м, тип ВВ – граммонит 79/21. Процесс вылета забойки регистрировался сверхскоростной кинокамерой СКС и показан на рис. 2 (в момент времени 80 мс после начала детонации заряда).

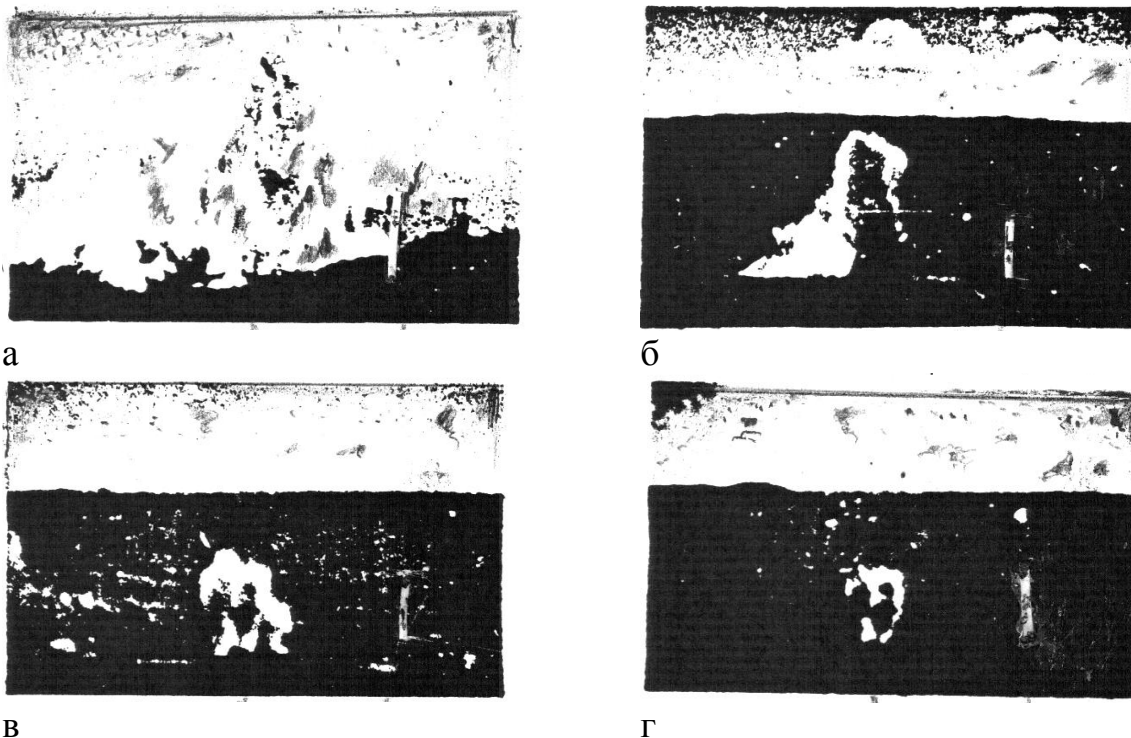


Рисунок 2 – Кинограмма процесса вылета забойки при взрыве заряда ВВ в скважине: а – сплошного; б – рассредоточенного 1 ИП; в – то же, 2-мя ИП; г – то же, 3-мя ИП

По результатам обработки кинограмм по взрывам построены графические зависимости изменения скорости  $V_d$  и времени  $t_d$  движения забойки от количества инертных промежутков  $n_{ИП}$  в момент времени, равный 80 мс (рис. 3).

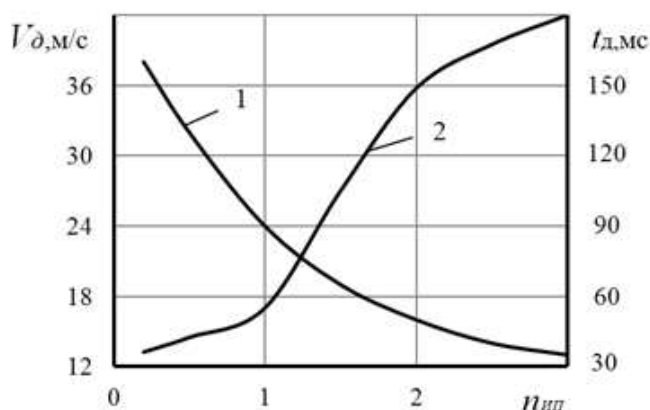


Рисунок 3 – Зависимости скорости  $V_d$  (1) и времени  $t_d$  (2) движения забойки при взрыве скважинных зарядов ВВ от количества инертных промежутков  $n_{ИП}$

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Зависимости 1 и 2 для рассматриваемых условий аппроксимируются следующими формулами:

$$V_d = 3,7(n_{ИП})^2 - 20,42 n_{ИП} + 41,46;$$
$$t_d = -14,76(n_{ИП})^3 + 69,72(n_{ИП})^2 - 40,6 n_{ИП} + 71.$$

Анализ рис. 3 показывает, что наибольшая величина  $V_d$  забойки наблюдается при взрыве зарядов сплошной конструкции, а наименьшая – при взрыве зарядов, рассредоточенных 3-мя ИП. Для сплошной конструкции  $V_d$  изменяется в пределах времени от 25 м/с до 38,5 м/с. С увеличением количества ИП от 1-го до 3-х величина  $t_d$  забойки возрастает от 75,3 мс до 180 мс. При этом повышается герметичность зарядной камеры за счет уплотнения материала ИП и забойки, увеличивая общее время воздействия на разрушаемый массив горных пород. Однако, увеличение времени воздействия за счет увеличения количества ИП в заряде ограничивается требованиями к качеству дробления разрушаемых пород. Такое условие приводит к уменьшению удельного расхода ВВ и полезной работы взрыва, расходуемой на дробление пород. Поэтому выбор рациональной конструкции заряда с оценкой по критерию  $V_d$  должен осуществляться на основе количественных показателей качества взрывного дробления горной массы.

Экспериментальными взрывами в полигонных (на объёмных моделях) и промышленных (массовые взрывы) условиях установлены зависимости изменения критериев оценки результатов дробления: выхода мелких – 0-10 мм и негабаритных – более 100 мм фракций  $n_{\phi}$ , размера диаметра среднего куска  $d_{cp}$  (рис. 4). Установлено, что при наличии в заряде от 1-го до 3-х ИП дробление модели значительно лучше, чем при дроблении зарядом ВВ сплошной конструкции. При наличии в зарядах 3-х ИП, наоборот, дробление пород хуже, чем при взрывах зарядов сплошной конструкции. В этом случае максимальный выход мелких и негабаритных фракций равен соответственно 58,3 % и 30,5 %. Минимальный выход негабаритных фракций равен 15,6 % (при 2-х ИП, см. рис. 4, зависимость 2). Наименьшее значение  $d_{cp}$  достигнуто также при 2-х ИП и равно 78 мм (зависимость 3).

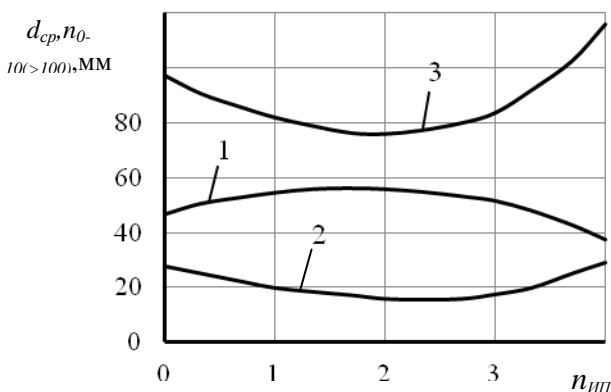


Рисунок 4 – Зависимость изменения критериев оценки качества дробления объёмных моделей от количества ИП в зарядах: 1 – выход фракций размером 0-10 мм, %; 2 – то же, негабаритных фракций размером > 100 мм; 3 – диаметр среднего куска, мм

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Приведенные зависимости по критериям оценки результатов дробления моделей аппроксимируются формулами:

$$\begin{aligned}n_{0-10} &= -3,49(n_{ИП})^2 + 11,84 n_{ИП} - 46,58; \\ n_{>100} &= 3,21(n_{ИП})^2 - 13,13 n_{ИП} + 29,3; \\ d_{cp} &= 7,58(n_{ИП})^2 - 27,05 n_{ИП} + 99,5.\end{aligned}$$

Сопоставление результатов полигонных экспериментов с промышленными (при сплошной конструкции зарядов) на гранитных карьерах Украины показало, что наилучшее дробление пород было достигнуто при взрывах зарядов, рассредоточенных 2-мя ИП [5]. Всего произведено 54 массовых взрыва, которыми отбито около 1 млн. м<sup>3</sup> горной массы. При этом средний удельный расход ВВ составил 0,74 кг/м<sup>3</sup>. В качестве ВВ применялись аммонит №6 ЖВ и граммонтит 79/21. Выход мелкой фракции размером 0-200 мм увеличился с 20,2 до 29,1 %, а крупной – более 1000 мм снизился с 12,6 до 6,0 %. Суммарный выход фракций менее 500 мм увеличился с 43,3 до 56,2 %, а +500 мм снизился с 56,7 % до 43,8 %. В общем объеме достигнуто снижение удельного расхода ВВ на 13,3 %, негабаритных фракций на 11,7 % и увеличение выхода горной массы с 1 м скважины на 9 %.

**ВЫВОДЫ.** 1. В результате теоретических исследований, с использованием уравнения состояния ПД, дана оценка скорости движения забойки, по величине которой представляется возможным сравнивать эффективность действия взрыва различных конструкций зарядов ВВ и использовать этот показатель при решении прикладных задач геодинамики взрыва.

2. Использование этого критерия при производстве массовых взрывов может осуществляться для оценки эффективности действия взрыва зарядов сплошной конструкции. Однако при взрывах скважинных зарядов, рассредоточенных промежутками, обуславливающих снижение удельного расхода ВВ, при увеличении их количества по длине скважины, использование такого критерия является недостаточным. В этом случае необходима экспериментальная проверка в промышленных условиях с оценкой качества дробления горной массы, соответствующей требованиям производства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Друкованый М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах – М.: Недра, 1973. – 416 с.

2. Ефремов Э.И., Бережецкий А.Я. Выбор средств и методов повышения эффективности взрывных работ на карьерах // Развитие методов добычи руд черных металлов и пути их дальнейшего совершенствования: сб. науч. работ по материалам междунар. науч.-техн. конф., посвященной 70-летию ГНИГРИ, 2003 г. / М-во промышл. политики Украины, Гос. науч.-исслед. горноруд. ин-т. – Кривой-Рог. – 2003. – С. 148-154.

3. Ефремов Э.И., Никифорова В.А., Петренко В.Д. Влияние времени запирающего газобразных продуктов детонации в зарядной полости на повышение полезной работы взрыва // Высокоэнергетическая обработка материалов. Сб. науч. трудов. – 1997. – С. 103-109.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

4. Ефремов Э.И., Никифорова В.А. Теоретическая оценка времени вылета забоек цилиндрических зарядов взрывчатых веществ // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Наук.-виробн. зб. – 2009. – Вип. 1/2009 (3). – С. 13-17.

5. Воробьев В.Д. Методы дробления анизотропных пород на основе регулирования параметров импульса взрыва комбинированных зарядов (на примере карьеров нерудной промышленности): автореф. дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.15.11 «Физические процессы горного производства» / В.Д. Воробьев; ИГМ НАН Украины. – К., 1995. – 34 с.

6. Ляхов Г.М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. – М.: Недра, 1974. – 192 с.

7. Физика взрыва / [Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др.]; под ред. К.П. Станюковича. – [2-е изд.]. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

8. Прокопенко В.С. Разрушение горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах – К.: НТУУ «КПИ», 2010. – 208 с.

### EVALUATION OF TAMPING SPEED DURING THE HOLE CHARGES EXPLOSION IN CONJUNCTION WITH RESULTS OF ROCKS CRUSHING

**V. Vorobiov, A. Kruchkov, O. Tverda**

National Technical University of Ukraine "KPI"

vul. Borshchagivska, 115, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: tverdaya@ukr.net

The results of theoretical and experimental studies of determining the tamping speed during the explosion of downhole charges of different designs are shown. The area of using this criterion during the evaluating the effectiveness of explosions of different designs explosive charges in the rock array is defined. The theoretical curves, wich were fitted using the equation of state of detonation products during the explosion of different designs explosives, are set.

**Key words:** explosion, explosive, charge, tamping, speed, quarry.

### REFERENCES

1. Drukovanyi, M.F. (1973), *Metody upravleniia vzryvom na karerakh* [The methods of explosion management in quarries], Nedra, Moscow, Russia.

2. Efremov, E.I., Berezhetskii, A.Ya. (2003), "Choice of means and methods of improving the efficiency of blasting in quarries", *Razvitie metodov dobychi rud chernykh metallov i puti ikh dalneishego sovershenstvovaniia. Sbornik nauchnykh rabot po materialam mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsyi, posviashchennoi 70-letiiu GNIGRI* [Development of Methods of Ferrous Production and Ways of further Improving. Collection of scientific papers based on international scientific and technical conference dedicated to the 70th anniversary GNIGRI], Krivoi Rog, GNIGRI, 2003, pp. 148-154.

3. Efremov, E.I., Nikiforova, V.A., Petrenko, V.D. (1997), "Effects of time blocking the gaseous products of detonation in charge cavity to increasing the useful



## 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