

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНИЖЕННЯ РОЗЛЬОТУ ОСКОЛКІВ ГІРНИЧОЇ МАСИ ПІД ЧАС ВИБУХУ

М. В. Байкова, В. В. Воробйов, О. А. Юрко, В. М. Чебенко

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

E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Досліджено спосіб зниження розльоту осколків гірничої маси та кінцевої концентрації пилу в результаті відкритої розробки корисних копалин. Експериментально перевірено і підтверджено ефективність розробленого способу зменшення пилу із застосуванням укриття з рідини при веденні вибухових робіт. Встановлено, що наявність шару рідини над підриваємим блоком зменшує кількість виділеного пилу. Виявлена його залежність від початкової швидкості розльоту осколків і пилу та допускаємої висоти підйому гірської породи.

Ключові слова: гірська порода, рідина, розліт, пилові викиди, вибух, висота, осколок, швидкість, залежність, товщина.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ РАЗЛЕТА ОСКОЛКОВ ГОРНОЙ МАССЫ ПРИ ВЗРЫВЕ

М. В. Байкова, В. В. Воробьев, А. А. Юрко, В. Н. Чебенко

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

E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Исследован способ снижения разлета осколков горной массы и конечной концентрации пыли в результате открытой разработки полезных ископаемых. Экспериментально проверено и подтверждено эффективность разработанного способа уменьшения пыли с применением укрытия из жидкости при ведении взрывных работ. Установлено, что наличие слоя жидкости над взрывааемым блоком уменьшает количество выделенной пыли. Обнаружена его зависимость от начальной скорости разлета осколков и пыли и допускаемой высоты подъема горной породы.

Ключевые слова: горная порода, жидкость, разлет, пылевые выбросы, взрыв, высота, осколок, скорость, зависимость, толщина.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Руїнування гірських порід вибухом є одним з найпоширеніших методів видобутку корисних копалин. Більш ніж 90 % мінеральної сировини видобувається за допомогою вибухових робіт [1]. Вибухова відбійка частини гірської маси від цілого масиву може застосовуватись при будь-якій міцності корисних копалин та вміщуючих порід. Неміцні породи ефективно руїнуються механічним способом – за допомогою скреперів, бульдозерів, екскаваторів та інших механізмів. Для руїнування міцних скельних порід в переважній більшості випадків застосовується буро підривний спосіб, суть якого полягає в тому, що в масиві вибуряють порожнини, в яких потім розміщують заряд, при вибуху якого частина масиву руїнується. Цей спосіб є переважаючим при

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

відпрацюванні рудних родовищ, видобутку будівельних матеріалів, гірничо-хімічної сировини та інших корисних копалин [2, 3]. Разом з цим даний спосіб супроводжується розльотом кусків породи на великі відстані, а також виділенням в атмосферу великої кількості пилу, що негативно впливає на стан здоров'я працівників та прилеглих житлових масивів. Тому однією з важливих задач є зменшення цього негативного впливу. Не дивлячись на те, що в даний час вже існує багато методів по зниженню розповсюдження пилу, вони не дають стовідсоткового результату.

Тож удосконалення та пошук нових методів зниження розльоту осколків гірничої породи і зменшення розповсюдження є актуальною та важливою задачею.

Серед застосовуваних способів зниження розльоту кусків гірничої породи є застосування спеціального укриття металевими листами, що встановлюються над свердловинами. Для попередження розльоту кусків породи потрібна велика маса укриття – до 0,8–1,0 т на м² укриваємої поверхні, так як укриття в першу чергу приймає на себе удар газів вибуху, а удар кусків породи, що розлітаються грає вторинну роль. Для застосування цього методу потрібні великі витрати матеріалу, а затрати на його придбання в 1,5–3 рази перевищують вартість вибухових матеріалів, необхідних для рихлення порід [5–6]. Але такі укриття не дають стовідсоткової гарантії від розльоту осколків, навпаки в окремих випадках відбуваються місцеві викиди шматків породи.

Мета роботи – дослідити вплив шару рідини, що розташовується над підриваємим блоком на розліт осколків гірничої породи та розповсюдження пилу під час ведення відкритих розробок корисних копалин.

МАТРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. З метою вирішення питання зменшення розльоту осколків гірничої породи та виділення пилу розглянемо розроблений спосіб підривання свердловинних зарядів під укриттям, в якості якого використовується водонепроникна плівка та шар рідини, які розміщуються над підриваємим блоком. Розглядаючи даний спосіб особлива увага приділялася товщині шару рідини, адже саме від нього буде залежати дальність розльоту осколків породи та концентрація розповсюдженого пилу.

Для оцінки ефективності даного способу були проведені теоретичні та лабораторні дослідження, в яких визначалася товщина необхідного шару рідини та концентрація пилу після вибуху.

Проводячи теоретичні розрахунки була отримана а формула для визначення необхідного максимального шару рідини [7, 8]

$$H = \frac{16d\rho_T}{3k_c\rho_{ж}} \ln \frac{g + \frac{3k_c\rho_{ж}v_0^2}{32d\rho_T}}{g}, \quad (1)$$

де ρ_T – щільність тіла (осколка гірничої породи), кг/м³; d – діаметр осколка гірничої маси, м.

Використовуючи цей вираз можна оцінити вплив початкової швидкості і діаметра куска на зміну максимальної висоти шару рідини, що забезпечує безрозльотне підривання.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Початкову швидкість розльоту осколків гірничої породи знаходимо з емпіричної залежності [9, 10]

$$v_0 = 72000 \frac{g}{\rho_T}, \quad (2)$$

де g – питома витрата вибухової речовини, кг/м^3 .

Для кар'єрів нерудних корисних копалин питома витрата $ВР$ коливається в межах $0,5-1,0 \text{ кг/м}^3$. Виходячи з цього максимальна початкова швидкість розльоту шматків буде перебувати в межах від 13 до 27 м/с. У розрахунках будемо приймати межу зміни швидкості від 10 до 30 м/с.

Результати розрахунку по (1) максимальної товщини шару рідини, яка знаходиться над вибухаємим блоком і забезпечує безрозльотне підривання наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Залежність максимальної висоти шару рідини від діаметру куска підірваної гірської маси

Діаметр осколка гірничої породи, м	Максимальна висота шару рідини (Н,м) при початковій швидкості осколка (м/с):		
	10	20	30
0,1	3	6	7,9
0,2	3,2	8,9	12,7
0,3	3,5	10,2	16
0,4	4	12	18,5
0,5	4,5	12,9	20,5

Аналізуючи дані, наведені у таблиці 1 ми бачимо, що зі збільшенням діаметра шматка гірської породи зростає необхідна товщина шару рідини: при діаметрі 0,1 м і початкової швидкості частки 10 м/с розрахункова величина шару рідини становить 3 м, а при діаметрі 0,5 м і швидкості 30 м/с – практично 21 м. Зі збільшенням початкової швидкості товщина шару рідини зростає, в більшій мірі це відбувається зі збільшенням діаметра осколків породи: так для шматка діаметром 0,1 м збільшення початкової швидкості в 3 рази призводить до зростання необхідної товщини шару рідини в 2 рази, а для шматка 0, 5 м – практично в 4 рази.

Окрім розльоту шар рідини впливає на розповсюдження виділеного пилу. Для того щоб перевірити ефективність запропонованого способу були проведені лабораторні дослідження. Вони проводились в замкненій ємкості і в кінці фіксувалася концентрація пилу в залежності від умов вибухового руйнування моделей, які були представлені у вигляді блоків розміром $300 \times 300 \times 300$ мм, виготовлених з пісчано-цементної суміші (співвідношення 1:1, марка цементу – 400). Після двох тижневої витримки моделі мали наступні фізико-механічні властивості: міцність на стиснення – 40 МПа; щільність – 2100 кг/м^3 .

В верхній грані зразків свердлили 4 основних шпури (діаметр 8 мм), глибина котрих складала 200 мм. На верхній грані моделі формували відкриту ємкість (без дна), котру заповнювали водою. Висоту шару води змінювали в межах від 10 до 100 мм. Моделі підривали в закритій ємкості. Після кожного вибуху вимірювали

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

концентрацію пилу, її зміну з перебігом часу, а також гранулометричний склад зруйнованої моделі. При встановленні концентрації пилу використовували стандартний метод, оснований на визначенні маси частинок пилу, затриманих тканинним фільтром при проходженні через нього певної кількості повітря. Масову концентрацію ($\text{мг}/\text{м}^3$) зважених частинок у повітрі вираховували за формулою [10]

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V_0},$$

де m_1 – маса фільтра без пилу, мг; m_2 – маса фільтра з пилом, мг; V_0 – об'єм повітря, котрий пройшов через фільтр, приведений до нормальних умов, м^3 .

При проведенні експериментів маса заряду складала 3,5 г. Результати експериментів наведені в табл. 2.

Таблиця – 2 Вплив товщини шару води на зміну концентрації пилу

Товщина шару води, мм	Концентрація пилу, $\text{мг}/\text{м}^3$	Діаметр середнього куска зруйнованого матеріалу моделі, мм
0	510 ± 30	42 ± 5
10	360 ± 38	39 ± 5
40	280 ± 28	36 ± 4
80	180 ± 26	34 ± 4
100	160 ± 20	33 ± 3

Як видно з отриманих результатів, використання додаткового шару води над підриваємим блоком дозволяє значно зменшити пилоутворення: шар товщиною 10 мм призводить до зменшення в 1,4 рази, а шар 80 мм – в 2,8 рази. Подальше збільшення товщини шару в меншій мірі впливає на його ефективність. Необхідно також відмітити, що даний спосіб зменшення пилу сприяє й підвищенню інтенсивності вибухового дроблення гірських порід – більше ніж на 20% знижується діаметр середнього куска зруйнованої моделі (при товщині шару води 100 мм).

ВИСНОВКИ. 1. Проведені теоретичні та лабораторні дослідження підтвердили ефективність запропонованого способу зменшення розльоту гірської маси та розповсюдження пилу при вибухових роботах на відкритій території.

2. Встановлено, що для безрозльотного підривання товщина шару рідини зростає зі збільшенням діаметру осколка та його початкової швидкості.

3. Шар рідини, який знаходиться над підриваємим блоком знижує кількість виділеного пилу.

4. Даний спосіб також сприяє підвищенню ефективності відкритого видобутку корисних копалин – діаметри середнього куска знижується більш ніж на 20 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ефремов Э.И. Проблемы охраны окружающей среды при массовых взрывах на карьерах // Вісник АН УРСР. – 1989. – № 11. – С. 64–70.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

2. Спосіб підривання свердловинних зарядів під водонепронекним укриттям / М. В. Беззубченкова, В. В. Воробйов, А. В. Воробйов // Патент на корисну модель № 115757. – 24.05.2017.
3. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / В. М. Комир, В. М. Кузнецов, В. В. Воробьев, В. Н. Чебенко – М.: Наука, 1985. – 209 с.
4. Снижение пылегазовых выбросов на карьерах при встречном иницировании скважинных зарядов / Э. И. Ефремов, М. П. Белоконов, В. С. Куц // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1992. – № 3. – С. 48–50.
5. Воробьев В.В., Пеев А.М. Перспективные направления повышения эффективности взрывного разрушения горных пород // *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 19–22.
6. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В. Концепция аккуратного взрывного рыхления скальных горных пород // *Вестник ТОГУ*, 2005. – №1. – С. 115–127.
7. Беззубченкова М. В., Воробйов В. В., Воробйов А. В. Спосіб підривання свердловинних зарядів // Патент на корисну модель №109831. – 12.09.2016.
8. Бать М. И., Джанелидзе Г. Ю. и др. Теоретическая механика в примерах и задачах. – М.: Наука, 1972. – 624 с.
9. Воробйов В.В., Пеев А.М., Щетинін В.Т. Промислові дослідження впливу розташування ініціаторів у свердловині на якість дроблення гірської маси / *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2 (12). – С. 63–67.
10. Воробйова Л.Д. Про зниження розльоту осколків при виконанні спеціальних підривних робіт / *Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – Київ:НТУУ«КПІ», – 2001. – Вип. 5. – С. 83–85.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF FRAGMENT SPREAD REDUCTION OF ROCK MASS DURING EXPLOSION

M. Baykova, V. Vorobyov, O. Yurko, V. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Purpose. A theoretical estimate of the relationship of spread height of the fragments with the parameters of the layer of liquid over the blasted block and experimental verification of the effectiveness of the developed method of reducing dust during blasting and installation of its rational parameters. **Methodology.** It was used basic laws of mechanics. **Results.** Performed theoretical researches of reduce of spread the rock with the help of fluid layer have shown that with an increase the diameter of a piece of rock increases the required thickness of the liquid layer: with a diameter of 0,1 m and initial velocity of particles of 10 m/s the calculated value of the liquid layer is 3 m, and with a diameter of 0,5 m and a speed of 30 m/s - 21 m practically. Laboratory studies have confirmed the high efficiency of the developed method of reducing dust in explosive work on the open surface. In addition to dust control, the use of this method contributes to increasing the effectiveness of explosive destruction of rocks - the diameter of the

middle piece is reduced by more than 20 %. **Originality.** For the first time, it is shown the interrelation of permissible lifting height of the fragment with its initial velocity and thickness of the liquid layer. **Practical value.** Is proposed a method of blasting rock mass without spread. Theoretical studies of which indicate the possibility of its application in real conditions. References 10, tables 2.

Key words: rock, liquid, dispersion, dust emissions, explosion, height, fragment, velocity, dependence, thickness.

REFERENCES

1. Efremov, Je.I. (1989) "Problems of environmental protection in mass explosions in quarries", *Visnyk AN URSS*, no.11, pp. 64–70.
2. Bezzubchenkova, M.V., Vorobyov, V.V., Vorobyov, A.V., Patent. Ukraine, *Sposib pidryvannya sverdlovyynykh zaryadiv pid vodoneproneknym ukryttyam* [Method of blasting of borehole charges under waterproof shelter], (Ukraine); DerzhNDIHP, no. 115757; Declared 24.05.17.
3. Komir, V.M., Kuznecov, V.M., Vorobyov, V.V., Chebenko, V.N. (1985), *Povyshenie jeffektivnosti dejstvija vzryva v tverdoj srede* [Increasing the effectiveness of the explosion in a solid medium], Nauka, Moscow, Russia.
4. Efremov, Je.I., Belokon', M.P., Kuc, V.S. (1992), "Reduction of dust and gas emissions in quarries with counter initiation of borehole charges", *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*, no. 3, pp. 48–50.
5. Vorobyov, V.V., Pejev, A.M. (2010) "Prospective directions for increasing the effectiveness of explosive rock destruction», *Suchasni resurso-enerhozberihayuchi tekhnolohiyi hirnychoho vyrobnytstva*, Iss. 1/2010 (5), pp. 19–22.
6. Shevkun, E.B., Leszczynski, A.V. (2005), «Concept of accurate explosive loosening of rocks», *Vestnyk TOGU*, no.1, pp. 115–127.
7. Bezzubchenkova, M.V., Vorobyov, V.V., Vorobyov, A.V. (2016), «Method for blasting hole charges», *The patent for utility model №109831*, Ukraine.
8. Bat', M.I., Dzhanelydze, G.Yu. (1972), *Teoretycheskaya mehanyka v prymerah I zadachah* [Theoretical mechanics in the examples and problems], Nedra, Moscow, Russia.
9. Vorobyov, V.V., Pejev, A.M., Shchetinin, V.T. (2013), «Industrial research the impact of location of the initiators of the well on the quality of the rock mass fragmentation», *Suchasni resursoenergozberigauchi tekhnolohiyi girnychoho vyrobnytstva*, vol. 2, no. 12, pp.63–67.
10. Vorobyova, L.D. (2001), «On the reduction of fragments for special blasting», *Vysnyk NTUU «Kyivskyi polytechnychnyi instytut». Seriya «Gyrnytstvo». Zbyrnyk naukovyh pratz*, Iss. 5, pp. 83–85.

Стаття надійшла 03.10.2017.