УНІВЕРСАЛЬНИЙ СПОСІБ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАБІЙКИ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ

**В. В. Воробйов, Л. Д. Воробйова, Т. Ю. Боженко, Г. О. Матюхіна,
К. С. Таран**

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

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Розглянуто вплив існуючих типів конструкцій забійок свердловинного заряду вибухової речовини (ВР) на загальну ефективність вибуху. Проаналізовано методи оцінки фізичних і технологічних властивостей промислових вибухових речовин. Детально вивчено методи визначення ефективності дії забійки. Запропоновано новий метод вивчення працездатності різних типів забійок, заснований на вимірюванні об'єму камуфлетної порожнини після вибуху. Даний спосіб дозволяє: враховувати всі фактори вибухового впливу заряду на середовище, що руйнується; виробляти порівняльну оцінку ефективності різних конструкцій забійок; здійснювати візуальний аналіз поведінки забійочного матеріалу під час вибуху; використовувати промислові вибухові речовини.

Ключові слова: вибух, вибухові речовини, забійка, заряд, матеріал, працездатність, свердловина, спосіб, ефективність.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАБОЙКИ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА

**В. В. Воробьев, Л. Д. Воробьева, Т. Ю. Боженко, А. А. Матюхина,
К. С. Таран**

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

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Рассмотрено влияние существующих типов конструкций забоев скважинного заряда взрывчатого вещества (ВВ) на общую эффективность взрыва. Проанализированы методы оценки физических и технологических свойств промышленных взрывчатых веществ. Детально изучены методы определения эффективности действия забойки. Предложен новый способ исследования работоспособности различных типов забоев, основанный на измерении объема камуфлетной полости после взрыва. Данный способ позволяет: учитывать все факторы взрывного воздействия заряда на разрушаемую среду; производить сравнительную оценку эффективности различных конструкций забоев; осуществлять визуальный анализ поведения забоечного материала при взрыве; использовать промышленные взрывчатые вещества.

Ключевые слова: взрыв, взрывчатые вещества, забойка, заряд, материал, работоспособность, скважина, способ, эффективность.

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Інтенсивний розвиток економіки нашої країни неможливо здійснити без раціонального використання природних ресурсів. На кар'єрах вибухові роботи є однією з основних ланок, яка багато в чому визначає ефективність усіх подальших технологічних процесів. Однак поряд з численними перевагами, вибухові роботи мають один суттєвий недолік - низький коефіцієнт корисної дії. Дослідженнями вітчизняних вчених встановлено, що тільки близько 10% енергії заряду вибухової речовини (ВР) витрачається на вчинення вибухом корисної роботи, тобто на руйнування гірських порід, інша її частина втрачається внаслідок виникнення хімічних і теплових втрат, а також реалізується в марних формах роботи вибуху (некерований розліт шматків породи, утворення повітряної і сейсмічної хвилі, а також викид в навколишнє середовище шкідливих газоподібних і аерозольних речовин) [1]. Саме ці непотрібні форми механічної роботи енергії вибуху і визначають негативний вплив останнього на рослинний і тваринний світ, призводять до руйнування природних ландшафтів, інженерних споруд. Захист навколишнього середовища від впливу вибухових робіт є дуже складною і комплексною за своєю природою завданням, оскільки розмір сейсмічного ефекту, тиск ударної повітряної хвилі, так само як некерований розліт гірської маси і виділення в атмосферу шкідливих продуктів вибуху, залежать від багатьох параметрів і визначаються численними критеріями.

Одним із можливих (і мабуть самим низьковитратним) є підвищення корисної енергії вибуху на дроблення гірських порід за рахунок більш тривалого імпульсу вибуху з меншою величиною тиску. Цей загальновідомий фізичний ефект у фахівців-підривників вже давно не викликає сумніву і реалізується в практиці за допомогою різних методів управління енергією вибуху [1]. При цьому на ступінь трансформації енергії вибуху в масив гірських порід суттєво впливає час замикання газоподібних продуктів детонації (ПД) в свердловині за рахунок застосуванням забійки. Її величина і якість в значній мірі визначають міру використання енергії вибуху для руйнування гірського масиву, рівномірність його дроблення, а також об'єм пилогазової хмари [2–4]. Головним призначенням забійки є надійне запирання продуктів вибуху на час, поки не відбудуться вторинні реакції детонаційного розкладу вибухової речовини, а енергія розширюваних газів не почне перетворюватись у механічну роботу руйнування та переміщення частини масиву. Поряд з регулюванням інтенсивності дроблення породи забивка має перешкоджати передчасному викиданню газів із свердловини, яке супроводжується неповним розкладом продуктів детонації і призводить до підвищення вмісту токсичних компонентів у газовій суміші, руйнування устя свердловини з неконтрольованим розкиданням окремих шматків породи [3].

Ефективність забійки, перш за все, залежить від застосовуваного матеріалу. Основними вимогами, що пред'являються до матеріалу, є: забезпечення високої ефективності вибуху, технологічність (зручність в обігу і можливість механізації робіт), а також низька собівартість. За фізико-механічними властивостями і характером опору викиду зі свердловини газоподібних продуктів детонації всі використовувані в даний час типи забійки можна розбити на дві групи - з сипучих

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

матеріалів і рідинні [1, 3]. До першої групи належать: забійка з пластичних матеріалів (глиняна, піщано-глинисті, з суглинків); дрібнозернистий, сипуча забійка (гранвідсів, шлак, з відходів збагачувальних фабрик, з бурової дрібниці); грубозерниста сипуча забійка (щебінь, суміш щебеню з дріб'язком або піском). Одним з технологічно здійснених і економічно обґрунтованих методів боротьби з пилогазового викидами з одночасним підвищенням ефективності вибухових робіт, є використання багатокомпонентних, низькогустинних сумішей, в тому числі піногелів.

Мета роботи – розробити універсальний спосіб для оцінки ефективності різноманітних конструкцій забійок свердловинних зарядів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. В даний час асортимент вибухових речовин, які застосовуються в гірничодобувній галузі, надзвичайно широкий [3]. Тому питання про економічну ефективність застосування того чи іншого вибухової речовини є надзвичайно актуальним [2–4]. Однак, перш ніж перейти до розрахунку економічної ефективності використання вибухової речовини на конкретному підприємстві [5], недостатньо порівняти тільки його вартісні показники. Необхідно спочатку визначити технічну ефективність цієї ВР, тобто вплив цієї ВР на дроблення масиву гірських порід, і, отже, на можливу зміну основних параметрів буропідривних робіт (питома витрата ВР, сітка свердловин, діаметр заряду і т. ін.). Технічну ефективність ВР зазвичай оцінюють за результатами випробувань в виробничих умовах стосовно до тих чи інших гірничо-геологічних умов і способів ведення вибухових робіт. Результати можуть бути усереднені в масштабі одного гірського підприємства, басейну, галузі гірничої промисловості, в цілому, по гірничодобувної промисловості. Мірою оцінки можуть бути як абсолютні, так і відносні показники (віднесені до еталонної ВР).

В якості оціночних показників використовуються такі величини, як питома витрата ВР на одиницю маси або обсягу підривають гірської породи, посуювання забою за один підриг при заданій масі зарядів, що підривають, ступінь дроблення гірської маси і ін. Для отримання найбільш об'єктивних показників передбачається їх оцінювати при таких параметрах підривання, які відповідають найбільш високій ефективності для даної ВР. Ці параметри знаходяться при проведенні попередніх дослідів. Показники технічної ефективності можуть бути перераховані на більш універсальні показники економічної ефективності віднесенням перших до суми всіх витрат по підривання.

Розглядаючи всі етапи підготовки та проведення вибухових робіт необхідно відзначити, що питання оцінки фізичних властивостей ВР (швидкість детонації, бризантність, чутливість і т.п.) досить детально вивчені і використовуються дослідниками (метод іонізаційних датчиків, оптичні методи, проба Геса, бомба Трауця та їм подібні з застосуванням сучасного обладнання) [6]. Все стає значно складніше, коли ми переходимо до питання оцінки технологічних властивостей ВР. На сьогоднішній день найбільшого поширення визначення відносної працездатності отримав метод воронкоутворення під час вибуху певного заряду в піску. Однак цей метод також має істотні недоліки, так як на форму воронки і її розмір будуть суттєво впливати вологість піску і його дисперсний склад. Найбільш

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ НА ДЕННІЙ ПОВЕРХНІ Й У ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ

ший вплив на розмір воронки викиду буде мати обсяг утворених при вибуху газів. Також відомі методи визначення працездатності по вимірюванню імпульсу ударної хвилі і оцінці розвитку газового міхура при вибуху заряду в акваріумі з водою і вибуху відкритого заряду. Перший метод дає позитивні результати, але вимагає створення великих басейнів, щоб виключити вплив відбитих хвиль від дна і його бортів, а під час вибуху відкритого заряду результати спостережень значно відрізняються один від одного через явища розкиду поверхневого шару заряду, при якому частина вибухової речовини не встигає здетонувати і передати свою енергію ударної хвилі. Крім того, при вимірі імпульсу ударної хвилі датчики тиску необхідно розташовувати в безпосередній близькості від заряду, що може призвести до їх руйнування. Але і найголовніше - багато промислових сумішевих вибухових речовин взагалі не детонують у відкритому заряді.

Маловивченим є також питання оцінки працездатності забійки свердловинного заряду. Існуючі лабораторні методи можна умовно розділити на групи [1, 3, 7] які відрізняються між собою характеристикою параметру, якій підлягає аналізу:

- оцінка зміни гранулометричного складу зруйнованих моделей (1 група);
- замір зусилля, яке сприймає поршень при русі в трубі, яка заповнена матеріалом забійки (2 група);
- оцінка часу початку вильоту забійки при вибуху в металевій трубі (3 група).

Кожен з перерахованих методів має свої недоліки, основним з яких є висока похибка при спробі повторити експерименти, проведені тим чи іншим дослідником. На нашу думку одним з можливих варіантів простого і ефективного способу оцінки працездатності забійки може бути модифікований метод, заснований на порівнянні обсягів камуфлетних порожнин, отриманих в піску при використанні різних конструкцій забійок [2, 8]. Для цього використовують (рис. 1) металеву ємність 1, уздовж стінок якої розташовані прошарки 2 з малошцільного матеріалу. Зверху ємність герметизується кришкою 3, на якій кріпиться стакан 4 для розміщення забієчного блоку 5. Забієчний блок 5 має шпур, в якому розміщується досліджувана конструкція забійки 6 і заряд ВР 7. Така конструкція дає можливість використовувати при експериментах різні матеріали (метал, бетон, конкретну гірську породу і т.п.). Крім того, при виготовленні стакану 4 і забієчного блоку 5 з прозорого матеріалу, ми отримуємо можливість досліджувати візуально поведінку забієчного матеріалу під час вибуху.

Оцінка ефективності конкретної конструкції набійки здійснюється наступним чином:

- спочатку проводять декілька вибухів без забійки, виміряють обсяги отриманих камуфлетних порожнин і визначають середнє їх значення (V_0);
- потім проводять декілька вибухів з використанням досліджуваної забійки, виміряють обсяги отриманих камуфлетних порожнин і визначають середнє їх значення (V_3);
- ефективність забійки визначають за формулою $\Xi = (V_3 - V_0)100\% / V_0$.

Таким же чином можна визначати ефективність однієї забійки по відношенню до іншої.

Рисунок 1 – Експериментальна установка

ВИСНОВКИ. 1. Запропоновано простий спосіб оцінки ефективності забійки. При цьому оцінка може бути віднесена як до вибуху без забійки, так і до вибуху з певним типом забійки. 2. Даний спосіб також дозволяє візуально досліджувати поведінку забійного матеріалу під час вибуху. 3. Наявність змінного забійного блоку дає можливість моделювати різну шорсткість стінок шпуру (змінювати коефіцієнт тертя).

ЛІТЕРАТУРА

1. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / В. М. Комир, В. М. Кузнецов, В. В. Воробьев, В. Н. Чебенко. М.: Недра, 1988. 209 с.
2. Воробйов В. В. Ефективність використання раціональної конструкції набійки свердловинних зарядів. *Вісник НТУУ КІП. Серія «Гірництво»*. 2000. Вип. 2. С. 51–53.
3. Лещинский А. В., Шевкун Е. Б. Забойка взрывных скважин на карьерах. Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2008. 229 с.
4. Тверда О. Я., Пляцук Л. Д. Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Вип. №1/2018(21). Кременчук: КрНУ, 2018. С. 103–115.
5. Мурин К. М. Забойка как фактор повышения эффективности и безопасности ведения взрывных работ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011. № 4. С. 390–395.
6. Применение в промышленности высокоэнергетических взрывчатых материалов: справочное пособие / Под общ. ред. А. Ф. Ильющенко. Минск: Белорусская наука, 2017. 283 с.

7. Шевкун Е. Б., Лещинский А. В. Сквжинные заряды с укороченной забойкой. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006. № 4. С. 139–146.

8. Воробйова Л. Д. Рациональна конструкція набивки при використанні свердловинних зарядів у полімерних рукава. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. К.: НТУУ «КПІ», 2004. Вип. 10. С. 91–94.

UNIVERSAL METHOD OF EVALUATION OF STEMMING EFFICIENCY IN DOWNHOLE CHARGES

V. Vorobyov, L. Vorobyova, T. Bozhenko, G. Matyukhina, K. Taran

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

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

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Purpose. The main purpose of the research is to develop a universal method for evaluating the effectiveness of various stemming constructions in downhole charges. **Methodology.** A new method of studying the workability of different types of stemmings is proposed, based on measuring the volume of the camouflage cavity after the explosion. This method allows: to take into account all the factors of the explosive impact of the charge on the destroyed environment; to make a comparative assessment of the effectiveness of different constructions of stemmings; carry out visual analysis of the behavior of the shock-proof material during the explosion; use industrial explosives. **Results.** One of the possible methods (and perhaps the most cost-effective) is to increase the useful burst energy of rock crushing due to a longer burst burst with less pressure. This well-known physical effect has long been beyond doubt and is implemented in practice by various methods of explosion energy management. In this case, the degree of transformation of the energy of the explosion into an array of rocks is significantly influenced by the time of closure of gaseous detonation products in the drill-wine due to the use of a stemming. A simple way to evaluate the effectiveness of a stemming is suggested. In this case, the assessment can be attributed to both a non-burst explosion and an explosion with a specific type of burst. This method also allows to visually investigate the behavior of the stemming material during the explosion. The presence of an interchangeable block makes it possible to model different roughness of the walls of the hole (to change the coefficient of friction). **Originality.** For the first time an effective practical method for universal assessment of the efficiency of stemming is presented. **Practical value.** Each of the existing methods of assessing the efficiency of stemming has its disadvantages, the main of which is a high error when trying to replicate the experiments conducted by a particular researcher. In our opinion, one of the possible variants of a simple and effective way of assessing the health of the stemming can be modified method based on the comparison of the volume of camouflage cavities obtained in the sand when using different designs of bottom. References 8, figure 1.

Key words: explosion, explosives, stemming, charge, material, working capacity, well, method, efficiency.

REFERENCES

1. Komir, V., Kuznetsov, V., Vorobyov, V., Chebenko, V. (1988), *Povyshenie effektivnosti dejstviya vzryva v tverdoj srede*, [Increasing the effectiveness of the explosion in a solid medium], Nedra, Moscow, Russia.
2. Vorobyov, V. (2000), "Efficiency of the use of stemming rational design in downhole wells", *Visnik NTUU KPI. Seriya "Girnictvo"*, no. 2, pp. 51–53.
3. Leshinskij, A., Shevkun, E. (2008), *Zabojka vzryvnyh skvazhin na karerakh*, [Blasting of wells at quarries], Izdatelstvo TOGU, Habarovsk, Russia.
4. Tverda, O., Plyatsuk, L. (2018), "Development of a wellbore charge stemming design with a two-stage system for absorption of harmful gases", *Suchasni resursoenergozberigauchi technologiii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 1, no. 21, pp. 103–115.
5. Murin, K. (2011), "Stemming as a factor in increasing the efficiency and safety of blasting", *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten*, no. 4, pp. 390–395.
6. Ilyushenko, A. (2017), *Primenenie v promyshlennosti vysokoenergeticheskikh vzryvchatyh materialov: spravocnoe posobie*, [Application of high-energy explosive materials in the industry: a reference manual], Belaruska navuka, Minsk, Belarus.
7. Leshinskij, A., Shevkun, E., (2006), "Downhole charges with short stemming", *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten*, no. 4, pp. 139–146.
8. Vorobyova, L. (2004), "Rational design of the stemming when using downhole charges in polymer sleeves", *Visnik NTUU KPI. Seriya «Girnictvo»*, no. 10, pp. 91–94.

Стаття надійшла 23.12.2019.