

**УРАХУВАННЯ В'ЯЗКОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД І ВИСОТИ УСТУПУ
В РОЗРАХУНКАХ ПАРАМЕТРІВ РОЗТАШУВАННЯ ЗАРЯДІВ
НА УСТУПАХ**

О. В. Шапурін, Є. М. Швець

ДВНЗ «Криворізький національний університет»
вул. XXII Партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна.
E-mail: knu@alba.dp.ua

С. В. Саженєв

ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»
м. Кривий Ріг, 50079, Україна. E-mail: sevgok@sevgok.com

Виконано дослідження властивостей гірських порід Першотравневого кар'єру ПАТ «ПівнГЗК» з визначенням міцності на стискання, швидкості по-вздожньої і поперечної хвиль, модуля Юнга, коефіцієнта Пуассона, модуля зсу-ву. За результатами цих досліджень, а також аналізу досвіду виконання буро-вибухових робіт у кар'єрі складено місцеву класифікацію трудно подрібнювано-сті гірських порід, у якій породи однієї міцності за шкалою проф. М.М. Про-тод'яконова розрізняли також за в'язкістю. До відомої математичної формули для визначення питомої витрати вибухових речовин на подрібнення гірських порід введено два поправочних коефіцієнти для врахування в'язкості гірських порід і висоти уступу. Запропоновано новий спосіб виконання буро-вибухових робіт, який дозволяє долати завищені значення опору по підшві перед першим рядом свердловин.

Ключові слова: в'язкість, уступ, свердловина, короткоуповільнене підри-вання.

**УЧЕТ ВЯЗКОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД И ВЫСОТЫ УСТУПА
В РАСЧЕТАХ ПАРАМЕТРОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАРЯДОВ
НА УСТУПАХ**

А. В. Шапурин, Е. Н. Швец

ГВУЗ Криворожский национальный университет
ул. XXII Партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина.
E-mail: knu@alba.dp.ua

С. В. Саженев

ПАО «Северный горно-обогатительный комбинат»
г. Кривой Рог, 50079, Украина. E-mail: sevgok@sevgok.com

Выполнены исследования свойств горных пород Первомайского карьера ПАО «СевГОК» с определением прочности на сжатие, скорости продольной и поперечной волн, модуля Юнга, коэффициента Пуассона, модуля сдвига. По результатам этих исследований, а также анализа опыта выполнения буровзрывных работ в карьере составлена локальная классификация трудно дробимых горных пород, в которой породы одной крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова различали также по вязкости. К известной математической формуле для опреде-

ления удельного расхода взрывчатых веществ на дробление горных пород введены два поправочных коэффициента для учета вязкости горных пород и высоты уступа. Предложен новый способ выполнения буровзрывных работ, который позволяет преодолевать завышенные значения сопротивления по подошве перед первым рядом скважин.

Ключевые слова: вязкость, уступ, скважина, короткозамедленное взрывание.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Першотравневий кар'єр серед інших кар'єрів Кривбасу відрізняється геологічною складністю виконання робіт, так як сформований багаточисельними тектонічними порушеннями. Значну долю фронту робіт займають зони брекчій, як рудних, так і скельових порід розкриття. Це призводить до перекосів: ми можемо отримати у вибуховому розвалі підвищений вміст дріб'язку і одночасно негабаритних кусків. Поряд із наведеним, спостерігаються проблеми із проробкою подошви уступів у вигляді недоборів. Все разом узяте привело до ідеї більш досконалого вивчення умов виконання буровибухових робіт, формування тактичних підходів до покращення ситуації.

Детальний аналіз ситуацій, які виникають в складних геологічних умовах, що характеризуються наявністю контактів між породами різної міцності наведено в докторській дисертації О.О. Фролова [1–5], який констатує наступне. У деяких випадках виконання підривних робіт на кар'єрах здійснюється в умовах, коли промисловий блок складається з двох і більше типів гірських порід різної міцності. В цьому разі біля межі поділу поруч розташовані свердловинні заряди вибухової речовини (ВР) підриваються в різних гірських породах. Якщо хвиля напружень від першого заряду досягне межі поділу першою, то її максимальні значення напруження зміняться, в той час, як значення максимальних напружень від другого заряду будуть залишатися незмінними до моменту зустрічі їх з хвилями першого заряду. Збільшення, або зменшення максимальних напружень при досягненні зони контакту відбувається тільки в тій породі, в якій розташовується заряд ВР, та від якого поширюються хвилі напружень. У другій же гірській породі, яка розміщена за межею поділу в напрямку поширення хвиль, максимальні напруження будуть зменшуватись незалежно від умов переходу.

Порівняння розрахункових даних за об'ємами руйнування однорідних і різноміцнісних масивів показує, що наявність межі поділу порід в зоні дії вибуху системи зарядів зменшує об'єм руйнування на 10–13 % ніж при підриванні таких же зарядів в однорідному середовищі при зміні розташування межі з 5 до 25 *d* незалежно від напрямку поширення хвиль.

Отже, сумарний енергетичний потік вибуху поруч розташованих зарядів в різноміцнісному масиві буде меншим ніж в однорідному, незалежно від місця розташування межі поділу, оскільки вона є перешкодою на шляху поширення та взаємодії хвиль напружень.

З метою зменшення впливу межі поділу порід різної міцності на розподіл енергетичних потоків в гірському масиві, пропонується проектувати параметри БПР так, щоб площа контакту порід була перпендикулярною до напрямку відби-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

вання, тобто межа поділу розташовується між свердловинами, що підриваються в різних групах.

Мета роботи – визначення впливу в'язкості на процес руйнування гірських порід вибухом.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Згадаємо перші роки освоєння кар'єрів Кривбасу. Верхні горизонти представлені були вивітрилими гірськими породами, для яких була характерною пористість - внутрішня пустотність. Виконуючи дослідження, проводили підривання високих уступів: 30, і навіть 45 м одночасно, із формуванням лише одного перебуру в кінці свердловини і не зменшуючи сітку розташування зарядів.

Фактично ж працювала наявність внутрішньої пустотності, а тому відсутність в'язкості. Підтвердженням цієї логіки став невдалий експеримент із підривання уступу висотою 30 м на кар'єрі «ПівдГЗК», на відміну від раніше отримуваних вдалих результатів. Цей кар'єр у Кривбасі був побудований першим, тому і першим увійшов у щільні масиви гірських порід. Відпрацювати екскаватором вдалося лише половину - 15 м, інше прийшлося бурити і підривати повторно. Стало зрозуміло, що для щільних, в'язких порід необхідні інші підходи.

Наявність в'язкості можна визначити без приладів, вивчаючи результати вибухових робіт. Наприклад, перед нами вибуховий розвал у якому куски порід мають «правильно» сформовані куски - це легко дробимі породи із добре розвинутою мережею тріщин розшарування. Ці тріщини полегшують вибуховій хвилі роботу розподілення масиву на куски.

Інший розвал складають куски «неправильної» форми, вони не мають паралельних граней - це і є в'язкі гірські породи. Такий вид розвалу характерний при підриванні гранітів.

З цього приводу доречна думка професора із США М. А. Кука [6–9] що дуже міцні труднодробимі масиви добре руйнуються відбитою хвилею із розтягуючими напруженнями на її фронті, або хвилею розвантаження після миттєвого зняття стискаючих напруг.

Описана ситуація підкреслює, що на стискання гірська порода витримує навантаження у багато разів вищі ніж на розтягування, або на зсув. Якщо згадати вибуховий розвал із кусками «неправильної» форми, то треба зауважити, що утворені площини мають мало помітну параболічну форму. Згадаємо зсуви ґрунту. У верхній частині площини просліджується лінійність, а в нижній - параболічність.

Необхідно виконати дослідження і розподілити їх за рівнем цієї властивості. Такі дослідження вперше були виконані в умовах Першотравневого кар'єру ПАТ «ПівнГЗК» канд. геол.-мінерал. наук Є.В. Євтеховим (головний геолог) і С.В. Саженевим (головний гірник).

Розподілення було виконано і формалізується додаванням у дужках, поряд із коефіцієнтом міцності за проф. М.М. Протод'яконовим однієї із цифр від 1 до 7.

Наприклад, 18(2) означає, що гірська порода має коефіцієнт міцності 18 і дуже високу в'язкість. Надзвичайно в'язкі труднодробимі породи позначаються цифрою (1) у дужках. Цифра (3) позначає породи значної в'язкості і труднодро-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

бимості; (4) – середньої в’язкості і труднодробимості; (5) – невеликої; (6) – малої в’язкості; (7) – легкодробимі породи із значною внутрішньою пустотністю.

Такий підхід з одночасним проставлянням коефіцієнта міцності гірських порід і категорії їх труднодробимості виявився дуже вдалим, бо обидва чинника впливають на кінцевий результат.

Практично реалізується врахування в’язкості проставлянням коефіцієнта, що відповідає її категорії в конкретному випадку, у відому математичну формулу для визначення питомої витрати ВР.

У самій формулі властивість порід інтегрально враховується саме коефіцієнтом міцності гірських порід, кг/м³

$$q = (10,6 + 0,06f)K_e K_{ny}^4 \sqrt{\frac{\Delta f^3}{Q^3}}, \quad (1)$$

де f – коефіцієнт міцності гірських порід за шкалою проф. М.М. Протод’яконова; Δ – щільність ВР, для застосування якої розраховується питома витрата q ; Q – теплота вибуху (енергія) ВР, кДж/кг; K_e – коефіцієнт, що коригує значення питомої витрати ВР відповідно до значення в’язкості гірських порід (табл. 1); K_{ny} – коефіцієнт що коригує значення питомої витрати ВР відповідно до висоти уступу, який підривається; його значення вираховують так $K_{ny} = 1 + 0,001H_y$.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта K_e в залежності від в’язкості гірських порід

Клас гірських порід за в’язкістю	1	2	3	4	5	6	7
Значення K_e	1,025	1,02	1,015	1,01	1,008	1,002	1,0

Аналогічно ускладнені умови виконання робіт виникають у кар’єрах за умов підривання уступів 17 і 20 м, а також у всіх випадках завищених значень опору по підосві перед першим рядом свердловин.

Отже, у наведеній формулі враховується вплив в’язкості гірських порід на якість їх подрібнення, а також вплив висоти уступу.

Це дозволяє більш точно керувати дією вибуху, запобігаючи випадкам, у яких верхню частину уступу відвантажують, а нижню повторно бурять і підривають.

У цих випадках має місце взаємний вплив в’язкості і висоти уступу. Не випадково також зроблена поправка Г.І. Покровського, В.М. Родіонова до формули М.М. Борескова на глибину закладання заряду (висоту уступу), за умов застосування зарядів викидання [10–12].

Середньостатистичне значення лінії ЛОПП по Першотравневому кар’єру за 2014 р. складає 12,73 м, задеклароване в існуючих паспортах значення ЛОПП для 20-метрового уступу 8 м.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

У розроблених нових паспортах збільшено значення ЛОПП для уступів будь-якої висоти з метою наближення закладених у них параметрів до реальних, при цьому існуючими методами вдавалось більш-менш уникати вузьких місць.

Спроба збільшити ЛОПП для уступів висотою 20 м до реальних значень 10,5 м створювала перепону у вигляді розльоту кусків під час вибуху за межі 700 м.

Для таких випадків існує технологічний прийом – застосування парно-наближених свердловин.

Варіант цього технічного рішення у вигляді, коли дві свердловини на відстані біля 2 м одна від одної розташовуються вздовж верхньої бровки було ефективним для здолання опору до 13–14 м при цьому виникали технічні складнощі виконання бурових робіт, бо знижується продуктивність свердлового верстата.

Таке розташування свердловин мало метою забезпечити роботу пари зарядів по аналогії з одним зарядом еквівалентної маси.

Це мало сенс за умов ініціювання зарядів за допомогою детонаційного шнура (ДШ).

У випадку неелектричних систем ініціювання ця ідея не працює, бо в кожному із зарядів свій КД з номіналом 500 мс і значним відхиленням від цього середнього значення, що зводить вищезгадану ідею нанівець.

Докт. техн. наук, проф. В.В. Перегудовим [13] запропоновано розташування зарядів так, що лінія, яка їх з'єднує, розташована за перпендикуляром до бровки укосу уступу. При цьому пропонується їх короткоповільнене підірвання з інтервалом у декілька мс, створюваним петлею ДШ.

Проведені ним експериментальні дослідження доводять можливість долання значень ЛОПП 15–17 м, при цьому відстань між свердловинами рекомендовано брати 2–3 м.

Пропонується удосконалити цей варіант розташування свердловин, збільшивши відстань між ними до 4,5 м (рис. 1).

Окрім наведеного, пропонується короткоповільнене їх підірвання: в першу чергу заряд, який розташовано далі від верхньої бровки, а через 15–17 мс – то й, що ближче до неї.

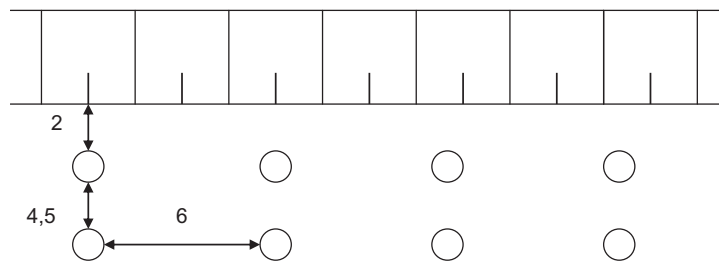


Рисунок 1 – Варіант розташування свердловин

Таким прийомом полегшується виконання бурових робіт, а крім того, унеможлиблюється знищення газових пухирців у заряді, який працюватиме у другу чергу, бо відстань між зарядами достатня для збереження газових пухирців.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Таке рішення може застосуватись не лише для задекларованих умов, а також у всіх випадках, коли виникатиме великий опір по підшві уступу, особливо ж для уступів висотою 17–20 м і більше.

Воно буде також корисним для здолання завищень по підшві уступу.

ВИСНОВКИ. 1. Запропоновано розподілення гірських порід за їх в'язкістю і труднодробимістю для умов Першотравневого кар'єру ПАТ «ПівнГЗК» на 7 категорій із присвоєнням кожній з категорій коефіцієнта для коригування питомої витрати ВР під час її розрахунків.

2. Запропоновано враховувати вплив на результати вибухових робіт висоти уступу за допомогою $K_{ny} = 1 + 0,001H_y$, який уводиться у формулу для розрахунку питомої витрати ВР.

3. Запропоновано спосіб здолання завищеного опору по підшві перед першим рядом свердловин розташуванням двох свердловинних зарядів на лінії, перпендикулярній верхній бровці і на відстані 4,5 м між ними, з першочерговим підриванням дальнього, а через сповільнення – ближньої до укусу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фролов О.О. Встановлення раціональної величини уступу при руйнуванні масиву гірських порід вибухом системи свердловинних зарядів // Вісник НУВГП: Зб. наук. праць, 2009. – Вип. 3(47). – С. 29–34.

2. Фролов О.О. Вплив часу сповільнення між вибухами свердловинних зарядів на характер та об'єм руйнувань масиву гірських порід // Вісник КНУ. – Кривий Ріг: КНУ, 2010. – Вип. 25. – С. 24–28.

3. Фролов О.О. Визначення об'єму руйнування тріщинуватості гірських порід вибухом свердловинних зарядів з використанням коефіцієнту інтенсивності напружень // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць, 2011. – Вип. 20. – С.82–87.

4. Фролов О.О. Експериментальні дослідження взаємодії енергетичних потоків при вибуху поруч розташованих зарядів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць, 2012. – Вип. 22. – С.89–97.

5. Фролов О.О. Обґрунтування раціональних відстаней між циліндричними зарядами при їх підриванні в скельному масиві гірських порід // Вісті Донецького гірничого інституту: Зб. наук. праць, 2013. – Вип. № 1(32). – С. 298–303.

6. Gook M.A. The Science of High Explosives, ASC Monograph No. 139, Reinhold Publishing Company, 1958 (currently published by Robert E. Krieger Publishing Company, Hungtinton, New York, 11743).

7. Gook M.A., Gook R.B., Clay R.T., T. Keyes, and L.L.Udu, Tr.SME,236, pp. 383–392, 1966.

8. Duvall W.I. and T.C. Atchison, «Rock Breakage by Explosives», RI 5356 (Bur. of Mines), Sept. 1957; Missori Shool of Mines and Metallurgi, Simposium of Mining Resesrch, TS No.97, p. 100 (1959), L.Obert, Bur. of Mines RI 6053 (1962).

9. Obert L. and W.I. Duval «Generation and Propagation of Strain Waves in Rock», Part I, Bureau of Mines RI 5849, 12961.

10. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. – М.: Недра, 1983. – 343 с.

11. Справочник по буровзрывным работам. / М.Ф. Друкованый, Л.В., Дубнов, Э.О. Миндели и др. – М.: Недра, 1976. – 248 с.

12. Кутузов Б.Н., Шапурин А.В. Буровзрывной комплекс в курсовом и дипломном проектировании. Методические рекомендации по расчету параметров БВР в курсовом и дипломном проектировании с использованием ЭВМ. – М.: МГИ, 1987. – 72 с.

13. Перегудов В.В. Рациональные схемы расположения взрывных скважин в первом ряду // Разраб. рудн. месторожд. – К.: Техніка, 1988. – Вып. 45. – С. 34–37.

ACCOUNT OF THE ROCKS VISCOSITY AND THE LEDGE HEIGHT IN THE PARAMETERS CALCULATION OF THE CHARGE LOCATION ON THE LEDGES

O. Shapurin, E. Shvets

Kryvyi Rih National University

vul. XXII Partz'izdu, 11, Kryvyi Rih, 50027, Ukraine.

E-mail: knu@alba.dp.ua

S. Sazhenev

JSC «Northern Mining and Processing Complex»

Kryvyi Rih, 50079, Ukraine. E-mail: sevgok@sevgok.com

Purpose. Determination of the viscosity effect on the rocks destruction process by explosion. Improvement the drilling and blasting operations in the development of high ledges. **Methodology.** We performed a study of the rocks properties of Pervomaisky open pit of JSC "SevGOK with the determination of the compressive strength, speed, longitudinal and transverse waves, Young's modulus, Poisson's ratio, shear modulus. **Results.** The distribution of rocks by their viscosity and difficult drilling capacity for conditions of Pervomaisky open pit of JSC "SevGOK" on the 7 categories with assigning the adjusting coefficient for the specific consumption of explosives during its calculation to each of the categories is proposed. It is proposed to consider the ledge height impact on the blasting works results by a coefficient, which corrects the value of explosives specific consumption in accordance with the ledge height. **Originality.** According to studies and experience analysis of drilling and blasting operations implementation in the open pit the local classification of hard crushable rocks, where the rocks of one strength by a scale of professor M.M. Protodyakonov also differ in viscosity is composed. **Practical value.** A new method of drilling and blasting operations performing, which allows to overcome the excessive resistance value by the bottom before the first row of wells is proposed. Reference 13, Table 1, Figure 1.

Key words: viscosity, ledge, hole, short delayed detonation.

REFERENCES

1. Frolov, O.O. (2009), "The ledge rational values definition during the rock massif destruction by blasthole charges explosion", *Transactions of National University of Water Management and Nature Resources Use, Zbirnyk naukovykh prac*, vol. 3, no. 47, pp. 29–34.
2. Frolov, O.O. (2010), "Effect of the time delay between the hole charges blasts on the nature and extent of the rock massif destruction", *Transactions of Kryvyi Rih National University*, vol. 25, pp. 24–28.
3. Frolov, O.O. (2011), "Determination of fracturing rocks destruction by hole charges explosion using the stress intensity factor", *Transactions of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, *Zbirnyk naukovykh prac*, vol. 20, pp. 82–87.
4. Frolov, O.O. (2012), "Experimental studies of the energy flows interaction during the adjacent charges explosion", *Transactions of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, *Zbirnyk naukovykh prac*, vol. 22, pp. 89–97.
5. Frolov, O.O. (2013), "Justification of rational distance between the cylindrical charges during their blasting in rock massif", *Visty Donetsкого гірничого інституту, Zbirnyk naukovykh prac*, vol. 1, no. 32, pp. 298–303.
6. Gook, M.A., *The Science of High Explosives*, ASC Monograph No. 139, Reinhold Publishing Company, 1958 (currently published by Robert E. Krieger Publishing Company, Hungtinton, New York, 11743).
7. Gook, M.A., Gook, R.B., Clay, R.T., Keyes, T. and Udu, L.L. *Tr.SME*, 236, pp. 383–392, 1966.
8. Duvall, W.I. and Atchison, T.C. "Rock Breakage by Explosives", RI 5356 (Bur. of Mines), Sept. 1957; *Missouri School of Mines and Metallurgi, Symposium of Mining Resesrch*, TS No.97, p. 100 (1959), L.Obert, Bur. of Mines RI 6053 (1962).
9. Obert, L., and Duval, W.I. "Generation and Propagation of Strain Waves in Rock", Part I, Bureau of Mines RI 5849, 12961.
10. Suhanov, A.F. and Kutuzov, B.N. (1983), *Razrushenie gornyh porod vzryvom* [The destruction of rocks by explosion], Nedra, Moscow, Russia.
11. Drukovanyi, M.F., Dubnov, L.V. and Mindely, E.O. (1976), *Spravochnik po burovzryvnyim robotam*, [Handbook of drilling and blasting works], Nedra, Moscow, Russia.
12. Kutuzov, B.N. and Shapurin, A.V. (1987), *Burovzryvnoy kompleks v kursovom i diplomnom proektirovanii. Metodicheskie rekomendacii po raschetu parametrov BVR v kursovom i diplomnom proektirovanii s ispolzovaniem EVM*, [Drilling and blasting complex in term and diploma project designing. Guidelines for the calculation of the parameters of drilling and blasting works in term and diploma project designing using computers], Moscow, Russia.
13. Peregudov, V.V. (1988), "The rational location diagrams of blast holes in the first row", *Razrabotka rudnyh mestorozhdeniy*, vol. 45, pp. 34–37.

Статья надійшла 30.10.2015.