

ПИТОМІ ВИТРАТИ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ ПРИ РУЙНУВАННІ БЛОКУ ПОРІД З РІЗНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

О. Я. Тверда, асп., В. Д. Воробйов, докт. техн. наук (НТУУ «КПІ»)

Установлены зависимости изменения удельного расхода взрывчатых веществ при одновременном разрушении пород с различными физико-механическими свойствами и структурно-текстурными особенностями и его влияние на качество подготовки горной массы.

Ключевые слова: взрыв, горная масса, крепость, переходная зона пород, удельный расход ВВ, тип пород, слоистость.

Встановлено залежності зміни питомої витрати вибухових речовин при одночасному руйнуванні порід з різними фізико-механічними властивостями і структурно-текстурними особливостями та її вплив на якість підготовки гірничої маси.

Ключові слова: вибух, гірнича маса, міцність, перехідна зона порід, питома витрата ВР, тип порід, шаруватість.

Dependence of changes in the specific consumption of explosives while breaking rocks with different physical and mechanical properties and structural and textural features, and its influence on the quality of prepared rock mass are set.

Key words: explosion, rock mass, strength, transition zone of rocks, specific consumption of explosives, type of rocks, bedding.

Вступ. Проведення вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин виконується у відповідності до затверджених типових проектів [1]. При цьому параметри вибуху розраховуються за відомими методиками [2–5] і використовуються при відпрацюванні уступів, як правило, вздовж всього горизонту кар'єру (розрізу). Однак у складних гірничо-геологічних умовах родовищ, що розробляються, нерідко доводиться розробляти кілька типів порід з різними фізико-механічними властивостями та структурно-текстурними особливостями [6]. В таких випадках параметри вибухових робіт повинні проектуватися не постійними для серії руйнованих блоків, а змінюватися в залежності від властивостей та будови порід, що підриваються. В умовах відпрацювання блоків на уступах, складених двома або більше типами порід, традиційний підхід до проектування параметрів вибуху є непридатним і може призвести до негативних результатів – незадовільної якості отриманої гірничої маси і низьких техніко-економічних показників підприємства.

Питанню врахування факторів впливу на процес вибуху в скельних породах присвячена значна кількість праць [7–10]. Запропоновані різноманітні рекомендації, отримані за результатами досліджень, що відносяться до вибору засобів і способів підривання (типи ВР, способи ініціювання та геометричні параметри розташування зарядів, їх конструкції, схеми підривання та ін.). Однак задача проектування параметрів масового вибуху при одночасному

відпрацюванні об'єму порід різної міцності серією свердловинних зарядів ВР в достатній мірі не розв'язана.

Підвищення ефективності масового вибуху при одночасному руйнуванні блоків, складених породами різної міцності, має базуватися на диференційованому підході до проектування його параметрів. Останні повинні бути розраховані для кожного типу порід з урахуванням їх властивостей та будови.

Треба відзначити, що підвищення достовірності параметрів при їх проектуванні в свою чергу залежить від достовірності оцінки порід.

Метою роботи є підвищення ефективності проектування параметрів масового вибуху при одночасному відпрацюванні масивів скельних порід різної міцності серією свердловинних зарядів на основі обґрунтування питомої витрати ВР в залежності від властивостей та будови блоку порід, що підривається.

Викладення основного матеріалу досліджень. Одним з основних параметрів підривних робіт для отримання гірничої маси потрібного гранулометричного складу в умовах кар'єрів є питома витрата ВР (q) [2–5]. Для вибору оптимальної витрати ВР в цих роботах запропоновані відомі формули. Серед них найбільш прийнятною є формула, наведена в роботах [2, 3], яка враховує щільність порід, коефіцієнт міцності порід за шкалою М. М. Протодьяконова, діаметр заряду, розмір окремоті в масиві, розмір необхідного кондиційного куска та властивості ВР:

$$q = 0,13\rho^4\sqrt{f}\left(0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} d_3 d_0\right) \left(\frac{0,5}{d_k}\right)^{\frac{2}{5}} k,$$

де ρ – щільність породи, т/м³; f – коефіцієнт міцності породи за шкалою М. М. Протодьяконова; d_3 – діаметр заряду, мм; d_0 – середній розмір окремоті в масиві, м; d_k – необхідний кондиційний розмір куска, м; k – коефіцієнт переходу від еталонної до іншої ВР, дорівнює відношенню теплоти вибуху еталонної та використовуваної ВР.

З метою визначення питомої витрати ВР q при одночасному підриванні блоку порід на ділянці кар'єра, представленого різними типами, її величина розраховується для характерних умов Шепетівського гранітного кар'єру. Перед цим було проведено районування кар'єру за типами порід з виділенням зон (рис. 1). У випадку руйнування блоку, представленого двома типами порід, параметри вибуху визначаються виходячи з їх фізико-механічних властивостей, тобто міцності та щільності. При цьому особливого значення набувають перехідні зони (рис. 2), що встановлюються геолого-маркшейдерською службою і коректуються в процесі відпрацювання горизонтів кар'єру. Параметри підривних робіт для перехідних зон визначаються диференційовано і усереднюються в залежності від властивостей основних зон руйнованого

масиву порід. Для забезпечення цієї умови за допомогою маркшейдерської служби визначені основні та перехідні зони (табл. 1). Для даного випадку виділені чотири перехідні зони: 1–2, 2–3, 3–4, 4–5. Величини перехідних зон L_{1-2} , L_{2-3} , L_{3-4} і L_{4-5} і коефіцієнт міцності порід змінюються, відповідно, таким чином: 13 м і 15; 18 м і 12,5; 21 м і 15,5 та 16 м і 15. Слід відмітити, що згідно з планом розвитку гірничих робіт зона 5 і перехідна зона 4–5 зараз не відпрацьовуються, вони будуть розроблятися пізніше.

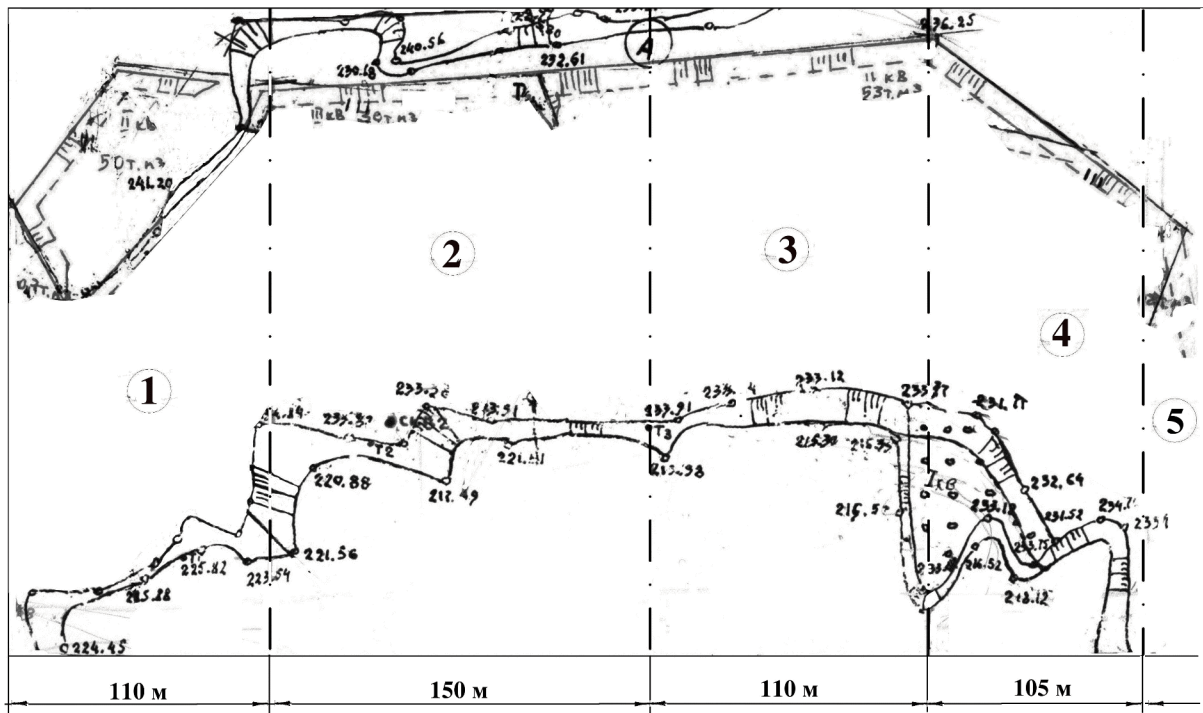


Рис. 1. Районування Шепетівського гранітного кар'єру за зонами різних типів порід: 1 – мігматити ($f = 16$); 2 – гранітогнейси ($f = 14$); 3 – граніти ($f = 11$); 4 – граніти з прошарками кварцу ($f = 20$); 5 – граніти ($f = 10$)

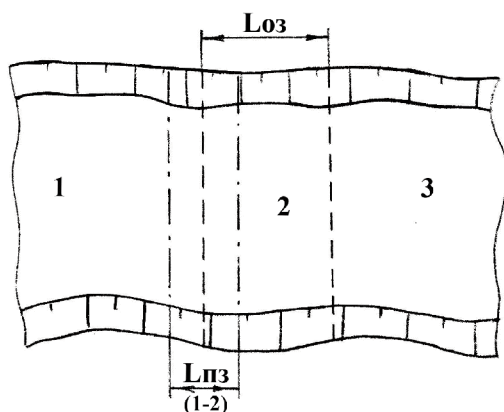


Рис. 2. Приклад виділення перехідних зон при відпрацюванні блоків з різними типами порід: 1–3 – основні зони; L_{03} – розмір основної зони, м; $L_{пз}$ – те ж, перехідної зони, м

З урахуванням отриманих даних про породи кар'єра і сучасні ВР місцевого приготування, з використанням даних, наведених в табл. 1, 2, розраховано питому витрату ВР (табл. 3, рис. 3), причому $d_3 = 220$ мм, $d_k = 0,7$ м [11].

Таблиця 1. Характеристика зон на уступах порід у кар'єрі

№ зони	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
L , м	100	13	150	18	110	21	105	16	103
f	16	15	14	12,5	11	15,5	20	15	10
ρ , т/м ³	2,7	2,7	2,7	2,65	2,6	2,7	2,8	2,7	2,6
d_0 , м	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,4	1,6	1,4	1,2

Таблиця 2. Характеристики вибухових речовин місцевого приготування

Тип ВР	Параметри ВР		
	$\rho_{\text{н}}$, кг/м ³	Q , кДж/кг	D , м/с
Грамоніт 79/21	1000	4320	3600
Комполайт ГС2	900	3821	2450
Комполайт ГС3	700	3603	2150
Полімікс ГР1/16-БП 45	1050	3792	3500
Полімікс ГР1/8-Б 50	950	3788	3500

Таблиця 3. Результати розрахунку питомої витрати ВР для основних та перехідних зон порід на уступі кар'єру

Тип ВР	№ зони порід								
	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
Грамоніт 79/21	0,99	0,98	0,96	0,87	0,79	0,98	1,19	0,98	0,77
Комполайт ГС2	1,12	1,07	1,02	0,99	0,95	1,14	1,34	1,10	0,87
Комполайт ГС3	1,19	1,14	1,08	1,05	1,01	1,21	1,42	1,17	0,93
Полімікс ГР1/16-БП 45	1,13	1,08	1,03	1,00	0,96	1,15	1,35	1,11	0,88
Полімікс ГР1/8-Б 50	1,13	1,08	1,03	1,00	0,96	1,15	1,35	1,11	0,88

На рис. 3 зображені залежності зміни питомої витрати ВР від міцності основних та перехідних зон. Як бачимо, зі збільшенням міцності питома витрата зростає. Так, середнє мінімальне значення q для основних зон становить 0,87 кг/м³, а середнє максимальне – 1,33 кг/м³. Для всіх основних зон спостерігається найменша витрата грамоніту 79/21, найбільша – комполайту ГС3. При цьому витрата грамоніту 79/21 зростає від 0,77 до 1,19 кг/м³ в залежності від типу породи, а комполайту ГС3 – від 0,93 до 1,42 кг/м³. Залежності, зображені на рис. 3, *a*, апроксимуються рівнянням виду $q = af^3 + bf^2 + cf + d$. Коефіцієнти регресії для цієї залежності наведені в табл. 4.

Залежність зміни питомої витрати ВР від міцності порід в перехідних зонах аналогічна. Так, середнє мінімальне значення q для перехідних зон становить 0,98 кг/м³, а середнє максимальне – 1,13 кг/м³. Залежності зображені на рис. 3, *б*, апроксимуються рівнянням виду $q = af^b$ з коефіцієнтами регресії (див. табл. 4).

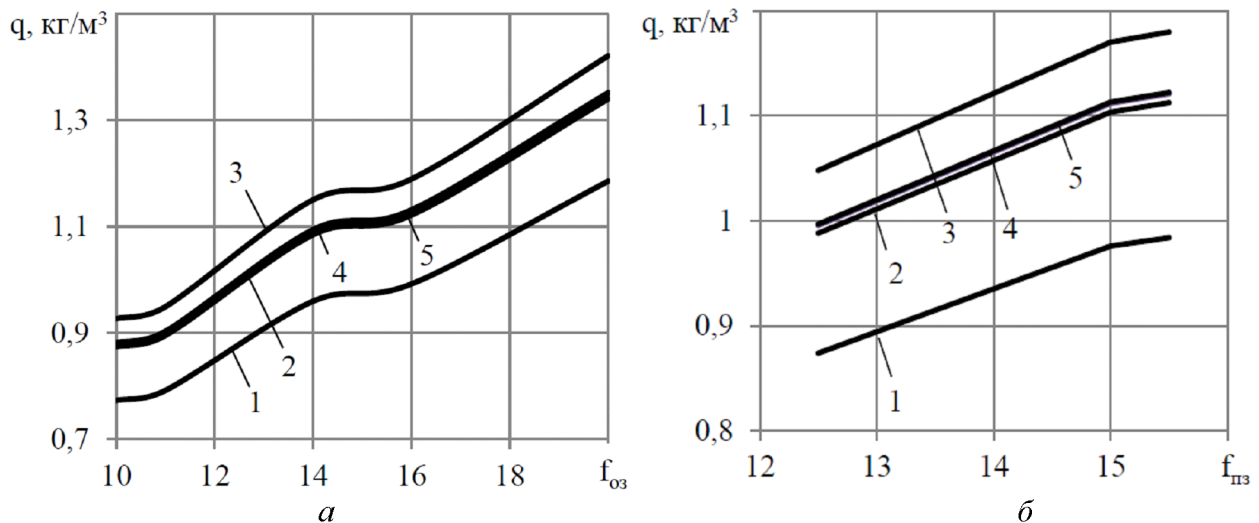


Рис. 3. Залежність зміни q від f основних (a) та перехідних (b) зон порід на уступі кар'єра для ВР: 1 – граніту 79/21; 2 – комполайту ГС-2; 3 – те ж, ГС3; 4 – поліміксу ГР1/16-БП 45; 5 – те ж, ГР1/8-Б 50

Таблиця 4. Значення коефіцієнтів регресії

№ рисунка	№ залежності	a	b	c	d
3, a	1	0,0004	-0,016	0,275	-0,74
	2	0,0004	-0,018	0,311	-0,83
	3	0,0004	-0,019	0,33	-0,88
	4	0,0004	-0,018	0,314	-0,84
	5	0,0004	-0,018	0,314	-0,84
3, b	1	0,204	0,576	-	-
	2	0,231	0,576	-	-
	3	0,245	0,576	-	-
	4	0,233	0,576	-	-
	5	0,233	0,576	-	-

Діаграма питомої витрати досліджуваних ВР в залежності від типу порід, що підриваються, зображена на рис. 4. З діаграми видно, що питома витрата ВР для різних типів порід є різною. Так, при підриванні суміжних зон порід неприпустимим є встановлення однієї і тієї ж питомої витрати ВР, оскільки це негативно вплине на техніко-економічні показники підприємства та якість подрібненої гірничої маси.

Припустимо, що необхідно зруйнувати блок порід об'ємом 2000 м^3 , який вміщує 950 м^3 мігматитів ($f = 16$) і 950 м^3 гранітогнейсів ($f = 14$), об'єм перехідної зони складає 100 м^3 . За типовим проектом питома витрата граніту становить $1,19 \text{ кг/м}^3$, тобто для руйнування згаданого вище блоку потрібно 2380 кг граніту 79/21. Загальна маса граніту 79/21 при диференційованому підході для об'єму руйнованого блоку порід становитиме:

$$0,99 \times 950 + 0,98 \times 100 + 0,96 \times 950 = 1951 \text{ кг.}$$

Економія граніту 79/21 складе 429 кг .

Питома витрата поліміксу ГР1/8-Б 50 для руйнування такого блоку за типовим проектом становить $1,35 \text{ кг/м}^3$, а при диференційованому підході – 1,13, 1,08 та $1,03 \text{ кг/м}^3$ відповідно для зони, що вміщує мігматити, перехідної зони та зони, складеної з гранітогнейсів.

Отже, загальна маса поліміксу ГР1/8-Б 50 при підриванні такого блоку за типовим проектом становитиме 2700 кг/м^3 , а при запропонованому підході:

$$1,13 \times 950 + 1,08 \cdot 100 + 1,03 \cdot 950 = 2160 \text{ кг.}$$

Таким чином, економія поліміксу ГР1/8-Б 50 складає 540 кг при підриванні 2000 м^3 гірської породи. Проте в порівнянні з грамонітом 79/21 його витрата для руйнування такого ж об'єму є більшою, різниця складає 209 кг. Це пов'язано з характеристиками цих вибухових речовин.

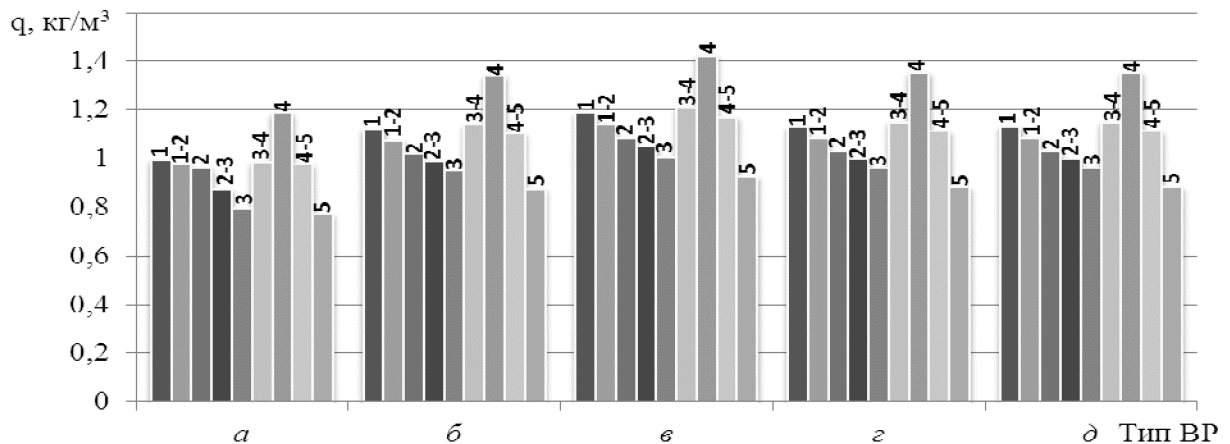


Рис. 4. Діаграма зміни питомої витрати досліджуваних ВР при підриванні порід 1–4 зон: а– грамоніт 79/21; б– комполайт ГС-2; в– те ж, ГС3; г– полімікс ГР1/16-БП 45; д– те ж, ГР1/8-Б 50

Висновки. Якість подрібнення підірваної гірничої маси при руйнуванні порід вибухом – основний фактор, який визначає техніко-економічні показники роботи гірничих підприємств. Вирішальне значення при цьому належить розробленню нових ефективних методів та засобів подрібнення порід енергією вибуху. Основною характеристикою енергетичних витрат при подрібненні порід вибухом є питома витрата ВР. Розроблений підхід до визначення питомої витрати ВР при підриванні блоків порід дасть змогу підвищити якість подрібнення гірничої маси, зменшить витрату ВР, підвищить техніко-економічні показники підприємства і знизить навантаження на навколишнє середовище. Такий підхід може бути покладений в основу методики проектування параметрів буропідривних робіт за допомогою програмного забезпечення.

1. *Єдині правила безпеки при вибухових роботах.* – К.: Норматив, 1992. – 171 с. (Нормативний документ Держгірпромнагляду України).

2. *Методические указания по составлению классификаций горных пород по взрываемости для карьеров.* – ИГД им. А. А. Скачинского, материалы межведомственной комиссии по взрывному делу. – М.: 1977. – 31 с.

3. *Справочник взрывника* / [Б. Н. Кутузов, В. М. Скоробогатов, И. Е. Ерофеев и др.] – М.: Недра, 1988. – 511 с.

4. *Степанов А. В.* Буровзрывные работы на предприятиях строительных материалов / А. В. Степанов, А. Д. Гдалин. – М.: Недра, 1982. – 288 с.
5. *Повышение эффективности* действия взрыва в твердой среде / [В. М. Комир, В. М. Кузнецов, В. В. Воробьев и др.] – М.: Недра, 1988. – 209 с.
6. *Мосинец В. Н.* Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород / В. Н. Мосинец, А. В. Абрамов. – М.: Недра, 1982. – 248 с.
7. *Федоренко П. И.* Влияние разнопрочности контактирующих горных пород на характер распределения энергии взрыва заряда ВВ / П. И. Федоренко, Б. А. Ртищев, В. Н. Удалов // Разраб. рудн. месторожд. – 1984. – № 38. – С. 43–47.
8. *Кучерявый Ф. И.* Влияние структуры и текстуры горного массива на характер его разрушения / Ф. И. Кучерявый // Механизм разрушения горных пород взрывом: материалы научного семинара. – 1971. – С. 96–108.
9. *Ефремов Э. И.* Влияние горногеологических особенностей месторождения на выбор схем и параметров взрывных работ / Э. И. Ефремов, В. Ф. Дурнев, В. С. Кравцов [и др.] // Механика и разрушение горных пород. – 1969. – С. 174–185.
10. *Каплунов Д. Р.* О влиянии структурных особенностей массива на результаты дробления взрывом / Д. Р. Каплунов, А. Н. Ионов // Взрыв. дело. – 1963. – № 53/10. – С. 17–23.
11. *Прокопенко В. С.* Разрушение твердых горных пород взрывами скважинных зарядов взрывчатых веществ в рукавах / Прокопенко В. С. – К.: Политехника, 2010. – 205 с.
12. *Воробьев В. Д.* Взрывные работы в скальных породах / В. Д. Воробьев, В. В. Перегудов. – К.: Наук. думка, 1984. – 240 с.