

ГЕОЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 622.235+331.452

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ У ПРОДУКТАХ ВИБУХУ З УРАХУВАННЯМ МІЦНОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

В. В. Твердий, асп. (НТУУ «КПІ»)

Приведены результаты исследования влияния прочности горной породы на содержание в продуктах взрыва вредных газов. Установлены зависимости изменения их количества от коэффициента прочности породы.

Ключевые слова: вредные газы, состав продуктов взрыва, взрывчатое вещество, массовый взрыв.

Наведено результати дослідження впливу міцності гірської породи на вміст у продуктах вибуху шкідливих газів. Встановлено залежності зміни їх кількості від коефіцієнта міцності породи.

Ключові слова: шкідливі гази, склад продуктів вибуху, вибухова речовина, масовий вибух.

The research results concerning the influence of rock strength on the content of noxious gases in the explosion products are presented. Dependences of change in their amount on the rock strength coefficient are stated.

Key words: noxious gases, composition of explosion products, explosive, bulk blast.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями. Енергія вибуху широко застосовується в економіці країни. У 2009 році підприємствами України було використано 143,6 тис. тонн вибухових матеріалів (ВМ) [1]. Наймасштабніше використання промислових вибухових речовин (ВР) має місце у гірничодобувній галузі. Під час проведення підричних робіт у кар'єрах в атмосферу виділяється велика кількість токсичних газів, які негативно впливають на здоров'я людини та погіршують стан навколишнього середовища. Шкідливі гази, що містяться у продуктах вибуху (ПВ), забруднюють виробниче середовище і, у випадку винесення пилогазової хмари за межі підприємства, атмосферу населених пунктів, які знаходяться поряд з ним. Зменшення шкідливого впливу масових вибухів у кар'єрах на здоров'я людини та навколишнє середовище є актуальною науковою та практичною задачею.

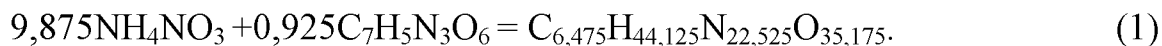
Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спираються автори. Проблема утворення та поширення шкідливих газів під час підричних робіт досліджувалась у багатьох наукових колективах України, країн СНД та дальнього зарубіжжя. Методи теоретичного та практичного визначення складу ПВ досліджувалися Ф. А. Баумом, К. К. Андреевим, К. П. Станюковичом та іншими [2–4]. Поширення шкідливих газів після здійснення масового вибуху у кар'єрі досліджене у працях Е. І. Єфремова, П. В. Бересневича та інших [5–7]. Значний вклад у встановлення базових закономірностей зміни кількості шкідливих газів

у ПВ від властивостей породи, що підривається, зробив А. П. Янов [8–9].

Виділення не розв'язаних раніше питань і формулювання цілей статті. У статті наведено закономірності зміни кількості шкідливих газів у ПВ в залежності від зміни властивостей гірських порід, що підриваються. ВР при цьому використовується для різних порід одна і та ж. В результаті використання методів математичної статистики отримано залежності зміни кількості шкідливих газів (CO , NO_2) під час підривання порід з різним коефіцієнтом міцності. Отримані результати зіставлено з результатом теоретичного розрахунку складу ПВ для даної ВР і обґрунтовано їх відмінність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно з [4] для написання рівняння реакції вибухового перетворення ВР та встановлення складу ПВ потрібно знати її склад. Відповідно до складу ВР визначається її кисневий баланс (КБ) та приналежність до першої (з позитивним КБ) або другої (з негативним КБ) групи. Для дослідження візьмемо просту ВР амоніт № 6ЖВ, яка відповідно до [10] має склад за масою $79 \pm 1,5$ % селітри аміачної водостійкої та $21 \pm 1,5$ % тротилу.

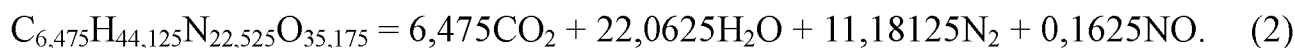
Визначимо умовний склад цієї ВР. Амíачна селітра (NH_4NO_3) міститься у кількості 79 % за масою і для 1000 г ВР її маса становитиме 790 г. Молярна маса NH_4NO_3 становить 80 г/моль. Маса тротилу ($\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$) у суміші становить 210 г. Молярна маса тротилу становить 227 г/моль. Отже, при вибуховому перетворенні 1000 г амоніту № 6ЖВ у реакції прийматиме участь $790/80 = 9,875$ моль/кг амíачної селітри та $210/227 = 0,925$ моль/кг тротилу. Умовний склад 1 кг амоніту № 6ЖВ матиме вигляд



Згідно з [4] КБ для ВР складу $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d$ становитиме

$$\text{КБ} = \frac{\left[d - \left(2a + \frac{b}{2} \right) \right] \cdot 16}{12a + b + 14c + 16d} \cdot 100\% = \frac{\left[35,175 - \left(2 \cdot 6,475 + \frac{44,125}{2} \right) \right] \cdot 16}{12 \cdot 6,475 + 44,125 + 14 \cdot 22,525 + 16 \cdot 35,175} \cdot 100\% = 0,26\%.$$

Кисневий баланс КБ = 0,26 %. Отже, дана ВР відноситься до першої групи. Це означає, що у її складі достатньо кисню для окислення всіх горючих елементів. Таким чином, рівняння розкладу амоніту № 6ЖВ матиме такий вигляд:



Як видно з реакції розкладу даної ВР, у ПВ з шкідливих газів міститься тільки NO у кількості 0,1625 молів, що становить $22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,1625 \text{ моль/кг} = 3,64 \text{ л/кг}$.

В реальних умовах використання цієї ВР дає результати, що значно відрізняються від розрахованих теоретичним шляхом. Вони наведені в таблиці [9].

Як видно з таблиці, склад ПВ в реальних умовах підривання амоніту № 6ЖВ суттєво відрізняється від теоретичних результатів. Зважаючи на це,

можна сказати, що використання теоретичного розрахунку складу ПВ для встановлення кількості шкідливих газів можна застосовувати за умов, коли на процес вибухового перетворення не впливають зовнішні фактори, наприклад, міцність гірської породи, її вологість та ін. Виходячи з описаного вище, застосуємо методи математичної статистики для апроксимації даних таблиці до залежностей, що дадуть змогу визначити кількість шкідливих газів у ПВ для всього діапазону коефіцієнту міцності ($1 \leq f \leq 20$).

Для CO при лінійній апроксимації

$$V_{CO} = 4,352f - 11,134, R^2 = 0,9497, \quad (3)$$

де V_{CO} – середня кількість CO у ПВ, л/кг; f – коефіцієнт міцності породи за шкалою М. М. Протодьяконова; R^2 – достовірність апроксимації.

Вміст шкідливих газів у ПВ амоніту № 6ЖВ для порід різної міцності

Міцність породи (за шкалою М. М. Протодьяконова)	Вміст CO у ПВ, л/кг	Вміст NO ₂ у ПВ, л/кг	Середній вміст CO у ПВ, для відповідної міцності, л/кг	Середній вміст NO ₂ у ПВ, для відповідної міцності, л/кг
4	9,3	7,0	7,30	5,23
4	7,2	3,9		
4	5,4	4,8		
6	14,5	3,0	15,07	3,63
6	13,7	4,7		
6	17,0	3,2		
8	18,6	1,9	19,05	1,90
8	26,8	1,4		
8	17,8	2,0		
8	13,0	2,3		
10	24,0	1,1	27,88	0,85
10	22,5	1,0		
10	38,0	0,6		
10	36,0	0,6		
10	25,3	0,8		
10	21,5	1,0		
12	45,5	0,5	48,35	0,49
12	51,2	0,5		
14	52,0	0,4	54,00	0,38
14	56,0	0,3		
16	61,5	0,4	61,75	0,33
16	62,0	0,2		
18	59,0	0,2	60,50	0,41
18	62,0	0,6		

При апроксимації поліномом 3-го степеня

$$V_{CO} = -0,0527f^3 + 1,6675f^2 - 11,239f + 30,317, R^2 = 0,9855. \quad (4)$$

Для NO_2 при лінійній апроксимації

$$V_{\text{CO}} = -0,3288f + 5,269, R^2 = 0,7651 \quad (5)$$

та при апроксимації поліномом 3-го степеня

$$V_{\text{CO}} = -0,0017f^3 + 0,1015f^2 - 1,8714f + 11,318, R^2 = 0,9945. \quad (6)$$

Отримані залежності представлені у вигляді графіків на рис. 1 і 2.

Видно, що зміна вмісту CO у ПВ апроксимується з великим значенням достовірності апроксимації як лінійною залежністю, так і поліномом 3 степеня. Це говорить про те, що між коефіцієнтом міцності породи та вмістом CO у ПВ для амоніту № 6ЖВ існує тісний зв'язок, який при використанні методів теоретичного розрахунку складу ПВ не враховується.

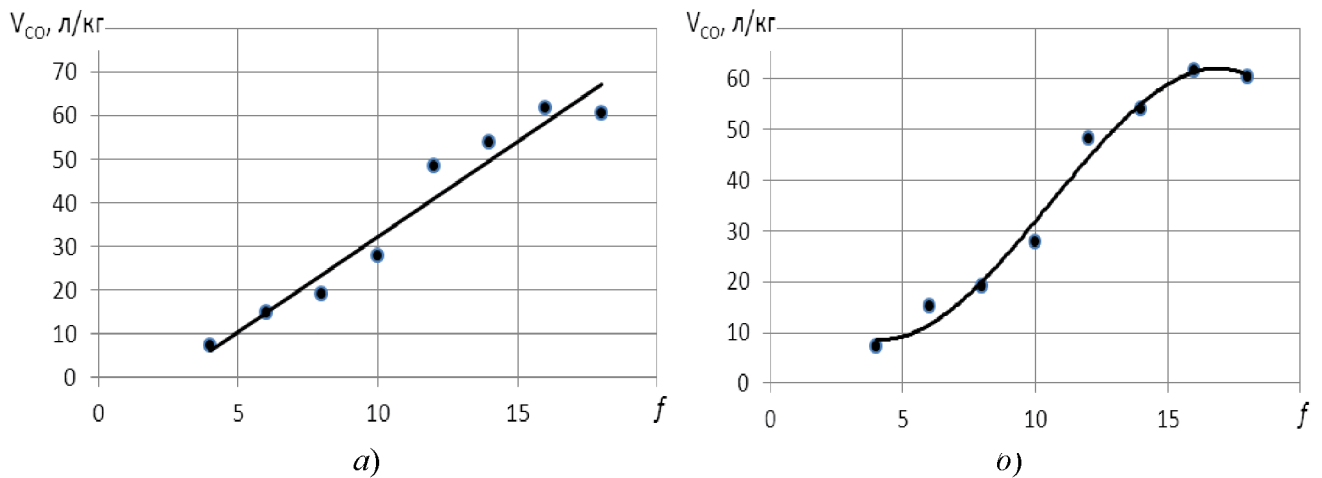


Рис. 1. Залежність зміни вмісту CO у ПВ від коефіцієнта міцності породи: а) при лінійній апроксимації; б) при апроксимації поліномом 3 степеня. Суцільна лінія – за розрахунковими залежностями; точки – за експериментальними даними

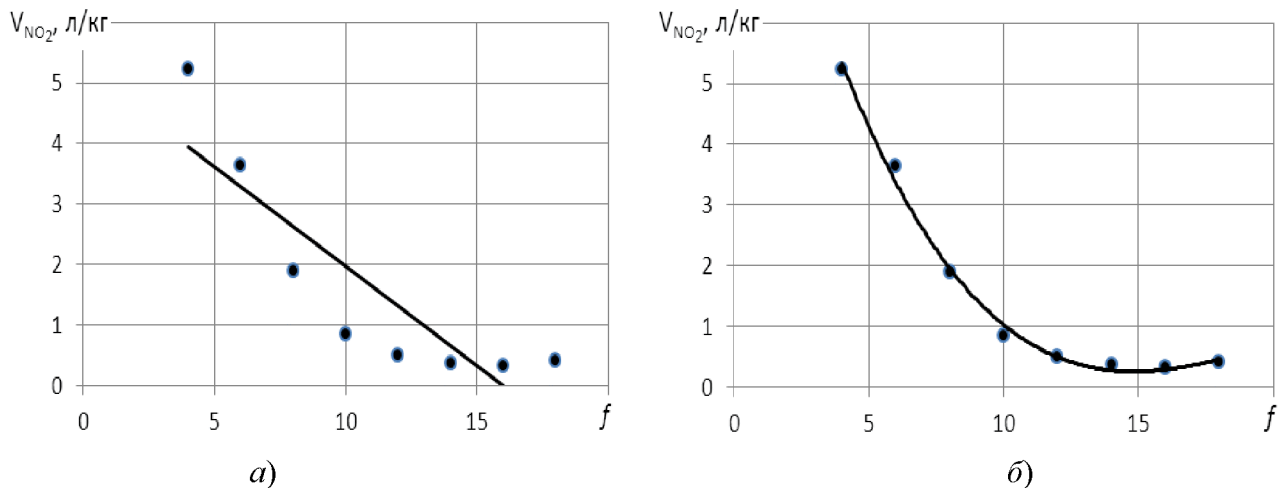


Рис. 2. Залежність зміни вмісту NO_2 у ПВ від коефіцієнта міцності породи: а) при лінійній апроксимації; б) при апроксимації поліномом 3 степеня. Суцільна лінія – за розрахунковими залежностями; точки – за експериментальними даними

Вміст NO_2 в ПВ при зміні коефіцієнта міцності апроксимується лінійною залежністю з достовірністю апроксимації $R^2 = 0,7651$, що є низьким показником, однак поліномом 3-го степеня дана залежність апроксимується з

достовірністю апроксимації $R^2 = 0,9945$, що також вказує на існування тісного зв'язку між кількістю NO_2 в ПВ та коефіцієнтом міцності породи.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. При використанні теоретичних методів розрахунку складу ПВ, а отже, і вмісту шкідливих газів у пилогазовій хмарі після здійснення масового вибуху на кар'єрах не враховуються реальні умови їх проведення. Про це свідчить проведений теоретичний розрахунок складу ПВ для амоніту № 6ЖВ та зіставлення отриманих результатів з даними експериментального визначення кількості шкідливих газів у ПВ. Майбутні дослідження даної проблеми автор планує провести для введення у рівняння вибухового розкладу коефіцієнтів, що відображатимуть ті умови проведення вибуху, які найбільше впливають на кількість шкідливих газів у ПВ (наприклад, міцність та вологість породи).

1. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dnop.kiev.ua>.
2. *Баум Ф. А. Физика взрыва / Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. И. Шехтер* – М.: Недра, 1959. – 77 с.
3. *Андреев К. К. Теория взрывчатых веществ / К. К. Андреев, А. Ф. Беляев.* – М.: Оборонгиз, – 1960. – 180 с.
4. *Физика взрыва / [Андреев С. Г., Бабкин А. В., Баум Ф. А. и др.]; под ред. Л. П. Орленко.* – Изд. 3-е, перераб. – В 2 т., Т. 1. – М.: Физматлит, 2002. – 832 с.
5. *Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / [Ефремов Э.И., Бересневич П.В., Петренко В. Д. и др.]* – Дніпропетровськ: Січ, 1996. – 177 с.
6. *Бересневич П. В., Фурса И. В. Исследование процессов развития и рассеивания пылегазового облака при массовых взрывах в железнорудных карьерах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.* – 1981. – № 5. – С. 58–62.
7. *Бересневич П. В. Аэрология карьеров / П. В. Бересневич, В. А. Михайлов, С. С. Филатов.* – М.: Недра, 1990. – 280 с.
8. *Янов А. П. Исследование пыле-газообразования при проходке стволов шахт Кривбасса / А. П. Янов, В. Л. Сахновский, Я. Л. Клыков // Взрывное дело.* – 1970. – С. 23–31.
9. *Янов А. П. Исследование газодинамики при производстве взрывных работ в подготовительных выработках шахт Криворожского бассейна / А. П. Янов, С. К. Савенко, В. И. Бережной и др. // Разработка рудных месторождений.* – 1967. – Вып. 2. – С. 91–96.
10. *Вещества взрывчатые промышленные. Аммонит № 6ЖВ и аммонал водоустойчивые. Технические условия. ГОСТ 21984-76.* – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 8 с. (Межгосударственный стандарт).