ГЕОЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 622.235+331.452

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ВИБУХІВ НОВИХ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН КАР'ЄРУ ТА ПРИЛЕГЛОЇ ТЕРИТОРІЇ

В. В. Твердий, асп., І. А. Лучко, докт. техн. наук (НТУУ «КПІ»)

Приведены результаты исследования образования и поднятия пылегазового облака, образуемого в карьерах при взрывах заводских и новых промышленных смесевых взрывчатых веществ местного приготовления.

Ключевые слова: взрывчатое вещество, взрыв, вредные газы, пылегазовое облако, выбросы.

Наведено результати дослідження утворення й підняття пилогазової хмари, що утворюється під час вибухів заводських і нових промислових сумішевих вибухових речовин місцевого приготування.

Ключові слова: вибухова речовина, вибух, шкідливі гази, пилогазова хмара, викиди.

Research results on evolution and raising the dust and gas clouds formed in the pits during the explosion of ready-mixed and new site-mixed industrial explosives are presented.

Key words: explosive, explosion, noxious gases, dust and gas cloud, emissions.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями. Гірниче підприємство чинить значний негативний вплив на навколишнє природне середовище. Найбільш вагомим фактором, що негативно впливає на екологічний стан довкілля при функціонуванні кар'єрів, є проведення підривних робіт для руйнування гірських порід. Актуальність вирішення питання зменшення виходу шкідливих газів при підривних роботах у кар'єрі обумовлена загостренням екологічних, санітарно-гігієнічних і економічних проблем в міру розвитку гірничо-видобувної промисловості України.

Відомо, що при роботі всього устаткування кар'єру утворюється в три рази менше газів, ніж при здійсненні одного масового вибуху [1]. У зв'язку з цим правильне оцінювання об'ємів шкідливих газів та їх поширення в атмосфері кар'єру і прилеглої території під час масових вибухів набуває особливої актуальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спираються автори. Проблемі залежності об'ємів викиду шкідливих газів від умов проведення вибухів у

кар’єрі присвячено велику кількість досліджень та публікацій. Основні наукові результати досліджень з проблеми утворення, поширення та зменшення об’єму шкідливих газів, що утворюються після масових вибухів у кар’єрах, отримані в наукових колективах України та Росії. Значний вклад у дослідження цієї проблеми внесли, зокрема, П. В. Бересневич, Е. І. Єфремов, С. С. Філатов, К. К. Андрєєв, А. Ф. Бєляєв [2–4] та інші вчені.

Виділення не вирішених раніше питань і формулювання цілей статті. Необхідно встановити доцільність використання нових сумішевих ВР для попередження утворення великої кількості шкідливих речовин під час масових вибухів у кар’єрі, а також передбачити можливість винесення шкідливих речовин за межі кар’єру, а отже, й загрозу забруднення прилеглих територій при використанні нових ВР і порівняти її з результатами, отриманими для прийнятої за еталон ВР – грамоніту 79/21.

Виклад основного матеріалу дослідження. Робота в умовах сильної загазованості негативно впливає на здоров’я працюючих в кар’єрі, створює передумови появи профзахворювань у людей у промислових зонах регіону. Вимоги нормативно-правових актів з охорони праці [5] забороняють роботу людей при загазованій понад норму атмосфері кар’єра і вимагають проведення контролю вмісту шкідливих газів в атмосфері та дотримання певних часових норм щодо допуску робітників на робочі місця після проведення підривних робіт [6]. Це обумовлює необхідність проведення досліджень впливу шкідливих викидів промислових вибухів на атмосферу кар’єра.

Основними шкідливими газами, що утворюються у результаті вибухового перетворення ВР класичного складу, є діоксид азоту (NO_2) та оксид вуглецю (CO).

При разовому отруєнні людей діоксид азоту негативно діє на слизисті оболонки, з’являється ймовірність швидкого розвитку набряку легенів і коронарної недостатності, а при тривалому отруєнні розвиваються бронхіт, пневмосклероз і міокардит [3].

Систематичне надходження в організм оксиду вуглецю сприяє розвитку атеросклерозу, а також інших хвороб судин, зокрема артерій ніг [7].

Значне зменшення викидів шкідливих речовин при проведенні масових вибухів дає використання нових промислових сумішевих ВР, які не містять тротилу або інших сенсибілізаторів взагалі, або містять їх у невеликих кількостях. Адже їх вміст спричиняє підвищений вихід отруйних газів під час вибуху. Крім хороших екологічних показників, такі ВР повинні демонструвати також і високі техніко-економічні показники.

Проведений аналіз [8] показує, що в ряді випадків ВР, які не містять потужних високобризантних сенсибілізаторів, виділяють у результаті вибуху меншу кількість токсичних газів у продуктах вибуху порівняно з заводськими ВР. Як приклад, можна навести ВР, розроблені ЗАТ «Техновибух». Розглянемо такі із них: полімікс ГР1/8, комполайт ГС6, полімікс ГР1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %), полімікс ГР1/8 (85 %) + КРУ К2 (15 %).

Відповідно до складу досліджуваних ВР, використовуючи рівняння вибухового перетворення, можна розрахувати масу шкідливого газу CO, що утворюється в результаті розкладання 1,0 кг кожної з досліджуваних ВР. Для

цього використаємо формулу, що випливає з закону Авогадро:

$$m(\mathrm{CO}) = \nu(\mathrm{CO}) \times M(\mathrm{CO}), \quad (1)$$

де m(CO) – маса утвореного CO внаслідок вибухового розкладу 1,0 кг ВР, г; ν(CO) – середньоарифметична кількість CO, що виділяється під час розкладання 1,0 кг кожної з ВР за схемами максимального газовиділення та максимального тепловиділення, молів; M(CO) – молярна маса CO, г/моль.

Для грамоніту 79/21 питоме виділення CO можна розрахувати у перерахунку NO на CO (коефіцієнт перерахунку на умовне CO дорівнює 6,5). Реакція вибухового перетворення грамоніту 79/21

$$C_{6,475}\ H_{44,125}\ N_{22,525}\ O_{35,175} = 6{,}475CO_2 + 22{,}0625H_2O + 11{,}18125N_2 + 0{,}1625NO.$$

Таким чином, при розкладанні 1,0 кг цієї ВР утворюється 0,1625 × 6,5 = = 1,05625 моля умовного CO.

Визначаємо масу 1,05625 молів CO:

$$1{,}05625 \times 28 = 29{,}58 \text{ г.}$$

Таким чином, отримуємо, що при вибуховому перетворенні 1,0 кг грамоніту 79/21 утворюється 29,58 г CO.

Реакції вибухового перетворення за схемами максимального газовиділення та максимального тепловиділення досліджуваних ВР наведені у [9]. Виходячи з них, при вибуховому перетворенні досліджуваних ВР за схемою максимального газовиділення утворюється така кількість CO: для поліміксу ГР1/8 – 0,825 моля, для композайту ГС6 – 2,233 моль, для поліміксу ГР1/8 (74 %) + КРУ К2 (26%) – 0,4777 моля, для полімікса ГР1/8 (85%) + КРУ К2 (15 %) – 0,6082 моль. За схемою максимального тепловиділення CO у продуктах вибуху цих ВР немає.

Аналогічно розраховуємо питому масу викиду CO для інших ВР. Отримані результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Питома маса викиду CO

Вибухова речовина	Питома маса викиду CO, г/кг
Грамоніт 79/21	29,58
Полімікс ГР1/8	11,55
Полімікс ГР1/8 (85 %) + КРУК2 (15 %)	8,52
Полімікс ГР1/8 (74 %) + КРУК2 (26 %)	6,69
Композайт ГС6	15,63

Залежності для визначення висоти підняття пилогазової хмари з урахуванням термічної стратифікації атмосфери наведено в [10]. Через значний об’єм розрахункових формул їх не представлено у даній статті. Треба зазначити, що висота підняття залежить від динамічного і температурного чинників. Час дії динамічного чинника визначається секундами, а

температурного – хвилинами. Також слід зауважити, що зі збільшенням часу дії динамічного чинника початкова висота підняття зростає і далі залежить від різниці температур пилогазової суміші і навколишнього середовища.

Час *t*, протягом якого діє динамічний чинник, за даними [2] змінюється в залежності від маси ВР, що підривається у свердловині. Використовуючи метод найменших квадратів, можна апроксимувати ці дані до залежності виду квадратного тричлену, що дасть змогу розраховувати час дії динамічного чинника для будь-якої маси свердловинного заряду.

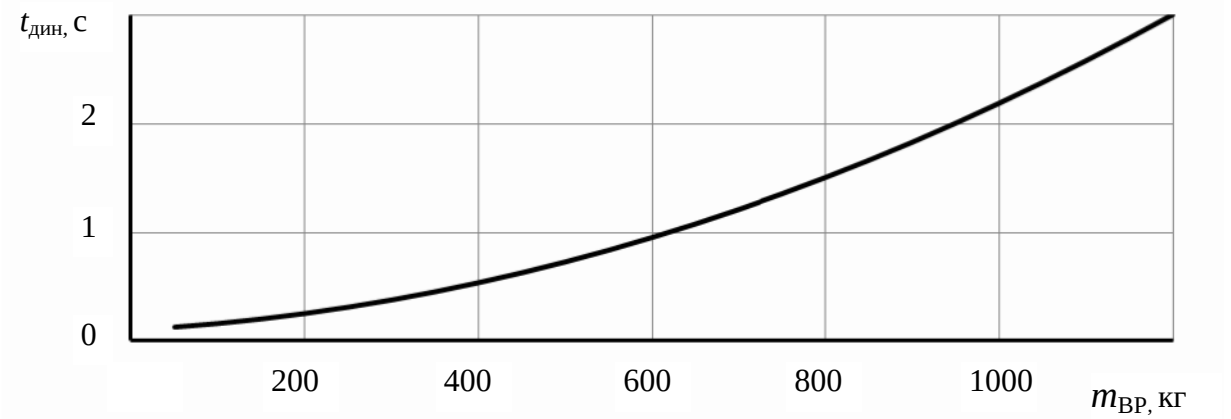
Таким чином, отримаємо залежність

$$t_{\text{дин}} = 166{,}1 \cdot 10^{-8} m_{\text{ВР}}^2 + 421{,}47 \cdot 10^{-6} m_{\text{ВР}} + 0{,}1, \quad (2)$$

$$R^2 = 0{,}99,$$

де R^2 – коефіцієнт достовірності апроксимації; $m_{\text{ВР}}$ – маса заряду ВР у свердловині, кг.

Графік залежності часу дії динамічного чинника від маси заряду наведено на рисунку.



Залежність часу дії динамічного чинника на підняття пилогазової хмари від маси заряду ВР у свердловині ($50 \le M_{\text{ВР}} \le 1200$ кг)

Оскільки свердловина має форму циліндра, то маса заряду ВР у ній

$$m_{\text{ВР}} = \rho_{\text{ВР}} \pi \frac{d^2}{4} h_{\text{ВР}}, \quad (3)$$

де $\rho_{\text{ВР}}$ – щільність ВР, кг/м^3 (табл. 2); d – діаметр заряду ВР, м; $h_{\text{ВР}}$ – довжина заряду ВР, м.

Таблиця 2. Щільність та швидкість детонації ВР, що порівнюються [9]

ВР / Параметр	Грамоніт 79/21	Полімікс ГР1/8	Полімікс ГР1/8 (85 %) + КРУ К2 (15%)	Полімікс ГР1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %)	Композайт ГС6
Щільність ВР, кг/м^3	950	875	950	1000	852
Швидкість детонації, м/с	3300	3600	3700	3900	2550

Швидкість виходу продуктів детонації із свердловини можна визначити за формулою [11]

$$V_{\text{ПД}} = M_{\text{Г.М}} V_{\text{д}} \left[\frac{1}{0{,}33 + \left(\frac{h_{\text{з}}}{h_{\text{ВР}}} \right) \left(\frac{\rho_{\text{з}}}{\rho_{\text{ВР}}} \right)} \right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (4)$$

де $V_{\text{д}}$ – швидкість детонації ВР в заряді, м/с (див. табл. 2); $h_{\text{з}}$ – довжина набивки, м; $\rho_{\text{з}}$ – щільність набивки, кг/м^3; $M_{\text{Г.М}}$ – коефіцієнт, що враховує взаємодію тіла, що виштовхується, із стінками свердловини. За умови підривання свердловини діаметром 0,25 м і глибиною 18 м величина $M_{\text{Г.М}} = 5{,}3 \cdot 10^{-2}$.

Визначимо деякі умови проведення порівняння впливу параметрів еталонної та нових ВР на підняття пилогазової хмари під дією динамічного та конвективного (температурного) чинників.

Довжину заряду приймемо 18 м. Діаметр свердловини дорівнює 0,25 м. Матеріал набивки – суміш піску та глини (1:1). Довжину набивки визначаємо відповідно до [11]. Рекомендована її довжина для порід середньої міцності складає 0,8 м. Таким чином, довжина свердловини дорівнює 18,8 м. Щільність набивки дорівнює 2000 кг/м^3.

Визначимо масу заряду ВР у свердловині з описаними параметрами.

Для грамоніту 79/21

$$m_{\text{ВР}} = 950 \times 3{,}14 \times 0{,}125^2 \times 18 = 838{,}97 \text{ кг}.$$

За формулою (2) визначаємо час дії динамічного чинника на підняття пилогазової хмари

$$t_{\text{дин}} = 166{,}1 \times 10^{-8} \times 838{,}97^2 + 421{,}47 \times 10^{-6} \times 838{,}97 + 0{,}1 = 1{,}625 \text{ с}.$$

За формулою (4) визначаємо швидкість виходу продуктів детонації грамоніту 79/21

$$V_{\text{ПД}} = 5{,}3 \times 10^{-2} \times 3300 \left[\frac{1}{0{,}33 + \left(\frac{0{,}8}{18} \right) \left(\frac{2000}{950} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} = 268{,}74, \text{ м/с}.$$

Аналогічно розрахуємо ці величини для інших ВР. Отримані результати наведені в табл. 3.

Знаючи швидкість виходу продуктів детонації, можна знайти висоту підняття пилогазової хмари під дією динамічного чинника за формулою, що наведена у [10].

Розрахувавши висоту підняття пилогазової хмари під дією динамічного чинника, можна визначити сумарне підняття (під дією динамічного та температурного чинників) (табл. 4).

Таблиця 3. Маса заряду, час дії динамічного чинника та швидкість виходу продуктів детонації різних ВР

Вибухова речовина	$m_{ВР}$, кг	$t_{дин}$, с	$V_{ПД}$, м/с
Грамоніт 79/21	839,39	1,625	268,74
Полімікс ГР1/8	773,13	1,42	290,43
Полімікс ГР1/8 (85 %) + КРУ К2 (15 %)	839,39	1,625	301,31
Полімікс ГР1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %)	883,57	1,77	319,37
Комполайт ГС6	752,80	1,36	205,07

Таблиця 4. Сумарна висота підняття пилогазової хмари через 120 с після вибуху

Вибухова речовина	Висота підняття під дією динамічного чинника, м	Сумарна висота підняття, м
Грамоніт 79/21	219,2	283
Полімікс ГР1/8	242,9	306,7
Полімікс ГР1/8 (85 %) + КРУ К2 (15 %)	245,8	309,6
Полімікс ГР1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %)	245,8	309,6
Комполайт ГС6	170,9	234,8

З отриманих результатів випливає, що з погляду екологічності та безпеки для працівників і прилеглих територій найкращим при руйнуванні слабких гірських порід вибухом є комполайт ГС6. При його використанні в кар'єрі після вибуху висота підняття пилогазової суміші найменша, а це свідчить про те, що пилогазова хмара не покине межі підприємства, а у випадку, якщо це станеться, то у незначних кількостях. Таким чином, ймовірність її зміщення повітряними потоками у напрямку населених пунктів, що можуть бути розташовані навколо підприємства, зменшується. Ця ВР забезпечує мінімальну ймовірність забруднення прилеглої території продуктами вибуху. Після комполайту ГС6 у порядку зростання висоти підняття пилогазової хмари розташовуються такі ВР: грамоніт 79/21, полімікс ГР1/8, полімікс ГР1/8 (85 %) + КРУ К2 (15 %) та полімікс ГР1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %).

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Робота в умовах сильної загазованості негативно впливає на здоров'я працюючих в кар'єрі працівників, створює передумови появи профзахворювань у людей в промислових зонах регіону. Перехід до нових безтротилових ВР може значно зменшити викид отруйних газів при проведенні масових вибухів у кар'єрах. Впровадження таких ВР та дослідження їх ефективності – пріоритетний напрямок розвитку гірничовидобувної промисловості України.

Нова ВР комполайт ГС6 є найкращою з погляду попередження винесення

шкідливих речовин після здійснення масового вибуху за межі підприємства та можливості їх потрапляння на територію жилих поселень, де ГДК шкідливих речовин у кілька разів менша, ніж у повітрі робочої зони. Три з нових досліджуваних речовин показали висоту підняття пилогазової хмари більшу, ніж у еталонної ВР. Це спричинено в основному вищою швидкістю детонації. Деякі корективи, звичайно, вносить щільність ВР, яка впливає на час дії динамічного чинника, відповідно на висоту підняття пилогазової хмари. Однак кількість отруйних газів у продуктах їх детонації, як свідчить розрахунок, значно менша. За рахунок цього досягається висока екологічна безпека їх використання.

В майбутніх публікаціях автори планують визначити концентрацію однієї з шкідливих речовин на момент формування пилогазової хмари з урахуванням площі блоку, що підривається, та розташування на ньому свердловин.

1. *Филатов С. С.* Борьба с запыленностью и загазованностью карьеров / С. С. Филатов, М. М. Конорев, К. С. Подвысоцкий – М.: Наука, 1984. – 228 с.

2. *Проблемы экологии* массовых взрывов в карьерах / [Э. И. Ефремов, П. В. Бересневич, В. Д. Петренко и др.] – Дніпропетровськ: Січ, 1996. – 177 с.

3. *Бересневич П. В.* Микроклимат железорудных карьеров и нормализация их атмосферы / П. В. Бересневич, А. В. Ткаченко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 176 с.

4. *Андреев К. К.* Теория взрывчатых веществ / К. К. Андреев, А. Ф. Беляев. – М: Оборонгиз, – 1960. – 180 с.

5. *Інструкція щодо визначення* допустимих термінів роботи працюючих у шкідливих умовах: І3.3.6. – 2006. – Офіц. вид. – К.: Офіційний вісник України, 2006.

6. *Єдині правила безпеки* при вибухових роботах: ДНАОП 0.00-1.17-92 (НПАОП 0.00-1.17-92): 2007. – Офіц. вид. – К.: Норматив, 2007. – 171 с. (Нормативний документ Держгірпромнагляду України).

7. *Ахметов Н. С.* Общая и неорганическая химия: 5-е изд., испр. / Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2003.

8. *Прокопенко В. С.* Взрывание горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах / В. С. Прокопенко, К. В. Лотоус. – К.: Політехніка. – 2006. – 113 с.

9. *Лучко А. І.* Результати дослідження параметрів вибухів еталонних та нових вибухових речовин місцевого приготування / А. І. Лучко // Вісник ЖДТУ. – 2008. – № 3. – С. 156–161.

10. *Бересневич П. В.* Исследование процессов развития и рассеивания пылегазового облака при массовых взрывах в железнорудных карьерах / П. В. Бересневич, И. В. Фурса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1981. – № 5 – С. 58–62.

11. *Миндели Э. О.* Забойка шпуров / Э. О. Миндели, П. А. Демчук, В. Е. Александров. – М: Недра, 1967. – 152 с.