

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЗАБІЙКИ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ ІЗ ДВОСТУПЕНЕВОЮ СИСТЕМОЮ ПОГЛИНАННЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ

**О. Я. Тверда**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056, Україна. E-mail: tverdaya@ukr.net

**Л. Д. Пляцук**

Сумський державний університет  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна.  
E-mail: info@ecolog.sumdu.edu.ua

Розроблено конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених при вибуховому руйнуванні скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Запропоновано комплексний підхід щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом. Дане дослідження є актуальним, так як впровадження розробленої конструкції забійки дозволить скоротити об'єм шкідливих газів утворених при проведенні масових вибухів без зниження ефективності підричних робіт. В результаті дослідження встановлено та науково-обґрунтовано кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини в залежності від типу вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворених нею при вибуху, та параметрів свердловини. Результати дослідження є корисними, так як дають можливість здійснювати оцінку впливу вибухової речовини на навколишнє середовище за концентрацією шкідливих газів у пилогазовій хмарі, розрахованій з урахуванням газів, поглинутих забійкою.

**Ключові слова:** забійка, свердловина, заряд, вибух, газ, адсорбент, кар'єр.

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЗАБОЙКИ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА С ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СИСТЕМОЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ

**О. Я. Твердая**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
просп. Победы, 37, г. Киев-56, 03056, Украина. E-mail: tverdaya@ukr.net

**Л. Д. Пляцук**

Сумской государственной университет  
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина.  
E-mail: info@ecolog.sumdu.edu.ua

Разработана конструкция забойки, которая предусматривает двухстадийную очистку от вредных газов, образованных при взрывном разрушении скальных пород, и базируется на хемосорбции газов негашеной известью или отходами

## ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

производства, которые ее включают, и физико-химической сорбции (адсорбции) цеолитами. Предложен комплексный подход к выбору взрывчатого вещества в сочетании с забоечным материалом. Данное исследование является актуальным, так как внедрение разработанной конструкции забойки позволит сократить объем вредных газов, образованных при проведении массовых взрывов, без снижения эффективности взрывных работ. В результате исследования установлено и научно-обоснованно количественно-качественные характеристики адсорбирующего состава в забойке скважины в зависимости от типа взрывчатого вещества, количества и типа вредных газов, образуемых им при взрыве, и параметров скважины. Результаты исследования полезны, так как дают возможность осуществлять оценку влияния взрывчатого вещества на окружающую среду по концентрации вредных газов в пылегазовом облаке, рассчитанной с учетом газов, поглощенных забойкой.

**Ключевые слова:** hole, borehole, charge, explosion, gases, adsorbent, quarry.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Одним із основних технологічних процесів видобутку корисних копалин на кар'єрах є підривні роботи, які супроводжуються значною кількістю пилу та шкідливих газів, зокрема оксидів азоту та вуглецю. Така ситуація призводить до неприємних екологічних наслідків. При поєднанні оксидів азоту і вуглецю з парами води утворюється азотна кислота, осідання якої на ґрунт призводить до підвищення у ньому вмісту нітратів, а попадання у водойми – підкислює воду. Монооксид вуглецю (чадний газ) викликає отруєння, так як зв'язується з гемоглобіном крові, блокуючи процеси транспортування кисню. Вуглекислий газ є одним із парникових газів і приймає участь у процесах глобального потепління [1]. Варто відзначити, що одночасне утворення шкідливих газів і пилу у процесі вибуху супроводжується адсорбцією цих газів поверхнею частинок пилу [2].

Відомо, що ефективність вибуху значною мірою визначається параметрами забійки свердловини [3]. 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 [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 забійка 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].

У результаті багаточисленних досліджень встановлено, що поведінка та ефективність забійок під час масових вибухів залежить від фізико-механічних властивостей забійкового матеріалу, крупності його частинок, стисненості, щеплення із стінками зарядної порожнини та ін. [5]. Вибору раціональної конструкції та матеріалу забійки присвячено багато праць [5–6]. Однак у них переважно розг-

## ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

лядаються конструкції забійок, що створюють максимальний опір виштовхуванню. При цьому мало уваги приділяється питанням фільтрації продуктів детонації в атмосферу через матеріал забійки [6].

Зокрема автори роботи [7] пропонують використовувати укорочені до 7-14 діаметрів заряду забійки з повітряним проміжком під нею, які дозволяють якісно пропрацювати верхню частину уступу і підвищити ступінь дроблення порід в цілому. У роботі [5] відзначається, що підвищення інтенсивності дроблення гірських порід при вибуховій відбійці може бути досягнуто в результаті застосування конструкцій розосереджених забійок, які забезпечують не лише щільне запирання в зарядних порожнинах продуктів детонації, але і активізацію газодинамічних процесів у забійковому матеріалі за рахунок створення в ньому повітряних проміжків та інертних жорстких вставок. Авторами [3] досліджено залежність ефективності забійки від форми її нижнього торця та величини повітряного проміжку між забійкою і зарядом вибухової речовини. Юрченком А.А. в роботі [4] наведено результати розробки конструкції забійки свердловинних зарядів із використанням резинової пробки з анкерним пристроєм. У роботі [8] розглянуто процес вибухового руйнування забійки у вигляді капсули з криволінійною поверхнею, в яку засипаються сипучі матеріали. Воробйовим В.В. [6] наведено результати досліджень щодо обґрунтування ефективності застосування у свердловинних зарядах комбінованої забійки із розташуванням у ній S-подібної лінії детонуючого шнура.

Однак відомі розробки конструкцій забійки направлені, у більшій мірі, на підвищення ефективності вибухових робіт. Такі забійки дають можливість зменшити частково викид пилу, однак не дозволяють нейтралізувати шкідливі гази. Розроблені конструкції, основна увага в яких направлена на їх форму та розміри, і які не враховують якості матеріалу забійки щодо здатності адсорбувати шкідливі гази, не здатні зменшити навантаження на навколишнє середовище від масового вибуху. Спроби вирішити дану проблему були зроблені авторами робіт [9–17].

У роботі [9] нейтралізацію шкідливих газів запропоновано здійснювати використанням гашеного вапна безпосередньо у забійці над верхнім торцем заряду. ДП «НДІБПГ» [10] розроблено спосіб пилогазоподавлення при масових вибухах із використанням твердої забійки, зволоженої водним розчином вуглекислого реагента концентрації 1-2 мас. % і захисного екрану у вигляді зволоженого шару порід на поверхні блоку. Авторами [11] пропонують вводити до складу забійкового матеріалу солі лужноземельного матеріалу. Катановим І.Б. і Скачиловим П.Г. [12] запропоновано при заряджанні свердловини простір над стовпцем заряду вибухової речовини заповнювати низькощільним складом. Авторами роботи [13] проведено широкі експериментальні дослідження різних типів забійок вибухових свердловин. Підтверджено більш високу якість замикання продуктів вибуху комбінованою забійкою з закладним елементом у порівнянні з засипною забійкою. Лещинським А.В. створено конструкцію універсальної комбінованої забійки, розпірним елементом якої є бетонний конус, що встановлюється у вибухову свердловину на засипну ділянку із бурового шламу [14]. У роботі [15]

## ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТТІ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

доведено, що при формуванні комбінованої забійки пошарово, із чергуванням шарів бурового шламу і елементів кам'яного матеріалу, опір її викиду тиском продуктів вибуху різко зростає, що дозволяє скоротити довжину забійки вдвоє. Ученими Східного НДГРІ разом із спеціалістами Антоновського РУ [16] розроблено декілька типів забійок: забійка неповна (зі зменшеною масою забійкового матеріалу), ступенева забійка (забійковий матеріал розосереджено на секції повітряними проміжками), заряд, що замикає.

У результаті проведеного аналізу технологічних і конструктивних рішень існуючих способів забійки свердловинних зарядів варто відзначити наступне. Забійки з удосконаленою їх формою або інертними проміжками по довжині або між забійкою і зарядом спрямовані на підвищення ефективності технологічного процесу і не враховують сучасні вимоги щодо стану атмосферного повітря робочої зони та прилеглих територій. Окрім того є досить трудоемними щодо їх формування у заряді. Заливні забійки, окрім того, що є дорогими за компонентним складом, потребують виготовлення спеціальних ємностей та кріплень для формування їх у свердловинах. Забійки у вигляді замикаючого заряду застосовують у тих випадках, коли верхня частина уступу складена більш міцними і щільними породами у порівнянні з нижньою його частиною. Застосування таких забійок призводить до дроблення, інколи виносу нижньої частини уступу і просідання верхньої щільної частини без будь-якого руйнування. Є небезпека виникнення повітряної ударної хвилі, властивої підриванню без забійки. Тому розробка універсальної забійки, яка б забезпечувала необхідний фракційний склад, з низькими трудовими та фінансовими затратами є актуальним науково-практичним завданням.

Мета роботи – розробити конструкцію забійки свердловинного заряду із системою поглинання шкідливих газів утворених при вибуху та здійснити наукове обґрунтування доцільності її впровадження при проведенні масових вибухів.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Виходячи із можливого складу пилогазової хмари ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) запропоновано конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів і базується на хемосорбції газів негашеним вапном та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами.

Згідно роботи [17] кількість газів утворених з 1 кг ВР складає, л/кг:  $\text{NO}_2$  – 21;  $\text{CO}$  – 27;  $\text{CO}_2$  – 78;  $\text{N}_2$  – 215. Враховуючи, що діаметр свердловини 250 мм, діаметр заряду – 160 мм, довжина свердловини – 16 м, довжина заряду – 12 м і довжина забійки – 4 м, така кількість газів із 1 свердловини складе, л:  $\text{NO}_2$  – 60,5;  $\text{CO}$  – 7776;  $\text{CO}_2$  – 22464;  $\text{N}_2$  – 61920.

На першій стадії пропонується поглинути діоксид азоту, а інші гази в певній кількості будуть поглинуті цеолітом (рис. 1). Важливо повністю поглинути саме  $\text{NO}_2$ , так як він, по-перше, найбільш шкідливий, по-друге – утворює димери  $2\text{NO}_2 \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4$  за рахунок чого на адсорбентах його адсорбція ускладнена.

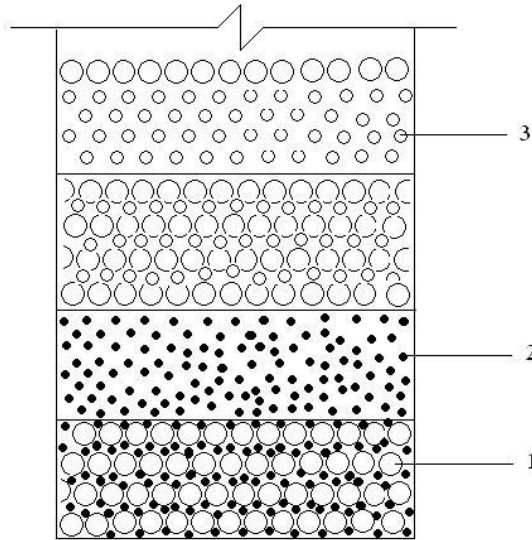
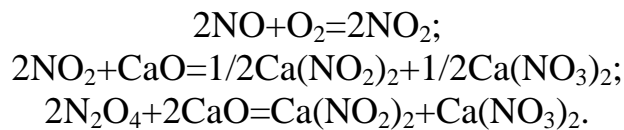
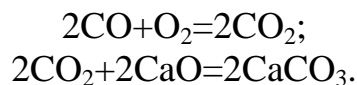


Рисунок 1 – Конструкція забійки з двостадійною очисткою від шкідливих газів:  
1 – щєбінка; 2 – негашене вапно або відходи які його містять; 3 – цеоліти



Якщо врахувати, що  $50:50\% \text{2NO}_2 \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4$ , то поглинання  $\text{NO}_2$  1 кг  $\text{CaO}$  становитиме  $0,3 \text{ м}^3$ . Із урахуванням ступеню поглинання (99 %), такий об'єм зменшиться до  $0,297 \text{ м}^3$ . Якщо 1 кг негашеного вапна може поглинути 297 л діоксиду азоту, то для поглинання 60,5 л (вихід із 1 свердловини) необхідно 0,204 кг. Тобто для практично повного поглинання  $\text{NO}_2$  при ступені конверсії 99 % необхідно 204 г  $\text{CaO}$ .

Що стосується  $\text{CO}$ , то даний оксид є несамоутворюючим, а тому безпосередньо з  $\text{CaO}$  не реагує. Однак за умов вибуху та за наявності кисню повітря можливі такі процеси:



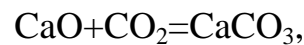
Однак для прецизійного розрахунку необхідно врахувати ступінь перетворення (конверсії) за реакцією  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ . Прийнято, що дана реакція проходить з  $\eta = 0,7$  (70 %), так як є ймовірність нестачі кисню. З урахуванням ступеню конверсії за цією реакцією 70 % отримано 0,7 л, тобто з кожного літра  $\text{CO}$  утвориться 0,7 л  $\text{CO}_2$ . Таким чином із наявних 7776 л  $\text{CO}$  в  $\text{CO}_2$  перетвориться 5443 л  $\text{CO}_2$ . При цьому не перетвориться і у будь-якому випадку піде на цеоліт 2332,8 л  $\text{CO}$ .

Теоретично розраховано необхідну кількість  $\text{CaO}$  для поглинання 5443 л  $\text{CO}_2$ , утвореного за реакцією  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ , яка становить 13,6 кг. Якщо  $\eta = 0,99$ , то  $m_{\text{CaO}} = 13,5$  кг. Таким чином для поглинання  $\text{CO}$ , який в процесі вибуху перет-

## ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

ворився в  $\text{CO}_2$  необхідно 13,5 кг  $\text{CaO}$ , при цьому неперетворений  $\text{CO}$  у кількості 2333 л піде на цеоліт.

З урахуванням реакції взаємодії негашеного вапна з діоксидом вуглецю:



Розраховано, що 1 кг  $\text{CaO}$  може поглинути 400 літрів  $\text{CO}_2$ . З урахуванням ступеню конверсії  $\eta=0,99$  1 кг  $\text{CaO}$  теоретично може поглинути 396 л  $\text{CO}_2$ . Беручи до уваги, що у пилогазовій хмарі  $\text{CO}_2$  міститься в об'ємі 22464 л, розраховано, що для повного поглинання  $\text{CO}_2$  необхідно 57 кг  $\text{CaO}$ .

Результати розрахунку кількості шкідливих газів, які може поглинути 1 кг  $\text{CaO}$  наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Кількість поглинання газу утвореного при вибуху одним кілограмом негашеного вапна

| Газ утворений при руйнуванні скельних порід вибуховою речовиною             | Кількість поглинання газу 1 кг $\text{CaO}$ , л | Ступінь конверсії |
|---|---|-------------------|
| $\text{NO}_2$   | 297   | 0,99              |
| $\text{CO}_2$   | 396   | 0,99              |
| $\text{CO}_2$ утворене за реакцією $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ | 400   | 0,7               |

Загальна маса  $\text{CaO}$ , яка необхідна для запланованих об'ємів поглинання становить:

$$m_{\text{CaO}} = 57 + 13,5 + 0,2 = 70,7 \approx 71 \text{ кг.}$$

Таким чином на цеоліт залишається 2332,8 л  $\text{CO}$ .

Згідно експериментальних літературних даних [18] для  $\text{NO}$  (а поглинання  $\text{CO}$  є подібним) 1 г цеоліту (13X) поглинає (максимально) 0,35 г  $\text{CO}$  або 0,28 л. Тому для поглинання 2333 л  $\text{CO}$  необхідно 8332,14 г або 8,3 кг.

Враховуючи, що при підвищенні температури фізична адсорбція погіршується масу цеоліту запропоновано збільшити у два рази (16 кг).

На основі проведеного розрахунку необхідної кількості адсорбуючого матеріалу на кожній стадії очистки та обґрунтування доцільності його застосування отримано кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини в залежності від типу вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею при вибуху, та параметрів свердловини:

$$m_{\text{CaO}} = \frac{\pi}{4} \rho_{\text{BP}} d_3^2 l_3 \left[ (0,003V_{\text{NO}_2} + 1,74V_{\text{CO}}) \cdot 10^{-3} + \frac{V_{\text{CO}_2}}{396} \right]; \quad (1)$$

**ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ  
І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

$$m_{\text{ч}} = \frac{\pi}{2} \rho_{\text{ВР}} d_{\text{з}}^2 l_{\text{з}} \frac{0,3 \cdot V_{\text{СО}}}{280}, \quad (2)$$

де  $V$  – об’єм відповідного шкідливого газу з 1 кг ВР, л/кг;  $m_{\text{ВР}}$  – маса ВР необхідна для заряджання 1 свердловини, кг;  $\rho_{\text{ВР}}$  – щільність ВР, кг/м<sup>3</sup>;  $d_{\text{зар}}$  – діаметр заряду, м;  $l_{\text{зар}}$  – довжина заряду, м.

Розрахунок необхідної кількості негашеного вапна та цеоліту для повної нейтралізації шкідливих газів при використанні сучасних вибухових речовин наведено у табл. 2. Діаметр свердловини – 250 мм, довжина – 16 м, діаметр заряду – 160 мм, довжина заряду – 12 м.

Таблиця 2 – Необхідна кількість адсорбенту для повної нейтралізації шкідливих газів при підриванні сучасних вибухових речовин

| Вибухова речовина                  | Кількість утворюваних газів з 1 кг ВР, л |       | Необхідна кількість негашеного вапна СаО, кг | Необхідна кількість цеоліту (13Х), кг |
|------------------------------------|--|-------|--|---------------------------------------|
|                                    | CO <sub>2</sub>                          | CO    |  |                                       |
| Полімікс ГР4-Т10                   | CO <sub>2</sub>                          | 52,64 | 78   | 52                                    |
|                                    | CO                                       | 82,66 |  |                                       |
| Полімікс ГР1/8                     | CO <sub>2</sub>                          | 64,85 | 57   | 12                                    |
|                                    | CO                                       | 18,48 |  |                                       |
| Комполайт ГС6                      | CO <sub>2</sub>                          | 39,45 | 54   | 32                                    |
|                                    | CO                                       | 50,02 |  |                                       |
| Полімікс ГР1/8 (74%) + КРУК2 (26%) | CO <sub>2</sub>                          | 73,14 | 59   | 6                                     |
|                                    | CO                                       | 10,7  |  |                                       |
| Полімікс ГР1/8 (85%) + КРУК2 (15%) | CO <sub>2</sub>                          | 69,99 | 58   | 8                                     |
|                                    | CO                                       | 13,62 |  |                                       |
| Гранеміт И-30                      | CO <sub>2</sub>                          | 78    | 71   | 16                                    |
|                                    | CO                                       | 27    |  |                                       |
|                                    | NO <sub>2</sub>                          | 0,21  |  |                                       |
| Гранеміт И-50                      | CO <sub>2</sub>                          | 89,2  | 85   | 24                                    |
|                                    | CO                                       | 38,8  |  |                                       |
|                                    | NO <sub>2</sub>                          | 0,12  |  |                                       |

Таким чином, двостадійна очистка від шкідливих газів, яка базується на хемосорбції газів негашеним вапном та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами може забезпечити повну нейтралізацію NO<sub>2</sub>, та CO<sub>2</sub> і нейтралізацію CO цеолітами. Окрім того таку забійку необхідно враховувати при виборі раціонального типу вибухової речовини для проведення підривних робіт у конкретних гірничо-геологічних умовах.

На сьогодні основним критерієм екологічної безпечності вибухової речовини є висота пилогазової хмари та її об’єм. При розрахунку даних критеріїв враховуються сухоадіабатичний і вертикальний градієнти температури в шарі атмосфери, прискорення вільного падіння, температура пилогазової хмари і навколишнього середовища, постійна Кармана, характерний вертикальний масштаб турбулентної пульсації; час після вибуху, швидкість динамічного тертя, швидкість

## ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

виходу продуктів детонації (визначається за формулою Мінделі), швидкість детонації ВР в заряді, довжина забійки, довжина заряду, об'ємна маса забійки, об'ємна маса ВР, коефіцієнт, що враховує взаємодію тіла, що метається, із стінками висаджуваної породи, ширина та довжина блоку, що підривається.

Оцінку небезпечності ВР для навколишнього середовища можна провести і за кількістю утворених внаслідок масового вибуху шкідливих газів. Однак на думку автора [19] сама по собі кількість утворених газів не несе у собі інформації щодо дійсного впливу викидів на навколишнє середовище. Тому в роботі [19] запропоновано задатися певним параметром, з допомогою якого можна було б характеризувати ВР з точки зору екологічної безпеки і співставляти отримані результати для виділення менш та більш екологічно безпечних складів ВР. За такий параметр пропонується використовувати концентрацію шкідливих газів на момент формування пилогазової хмари при проведенні масового вибуху.

Однак такий підхід не є коректним, оскільки не враховує матеріал забійки та його здатність адсорбувати утворені внаслідок вибуху газу. Більш доцільним та раціональним може бути комплексний підхід щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом за наступним алгоритмом (рис. 2).

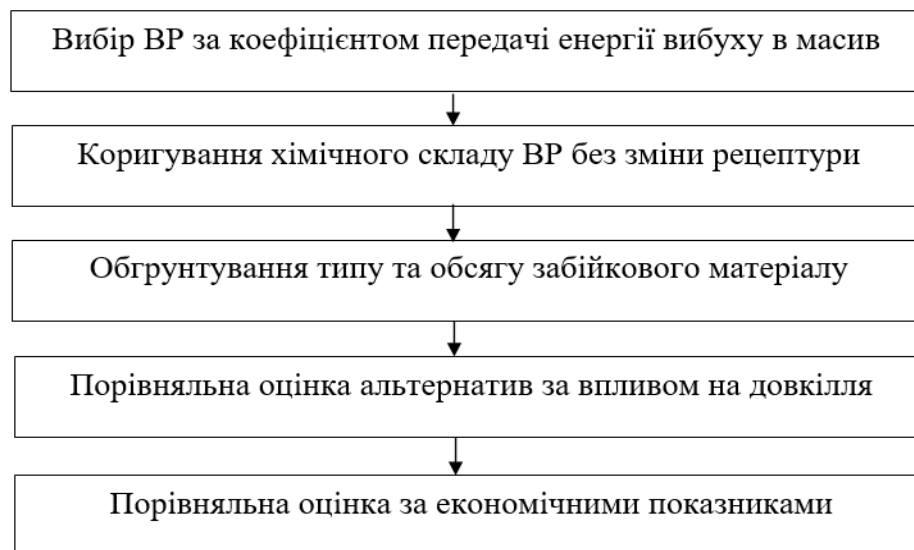


Рисунок 2 – Алгоритм вибору вибухових речовин

На першому етапі здійснюється вибір вибухової речовини за коефіцієнтом передачі енергії вибуху в масив з урахуванням властивостей масиву та характеристик вибухової речовини, на другому етапі відбувається за можливості коригування хімічного складу вибухової речовини без зміни рецептури з метою зменшення кількості шкідливих газів, на третьому – підбирається відповідний тип забійкового матеріалу з урахуванням кількості шкідливих газів, які можуть утворитись в результаті застосування даної вибухової речовини у необхідному обсязі, на четвертому етапі – за наявності альтернативних вибухових речовин при виборі за коефіцієнтом передачі енергії вибуху в масив проводиться їх порівняльна оцінка за впливом на навколишнє середовище з урахуванням матеріалів забійки. При чому оцінку впливу вибухових речовин на навколишнє



## ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

середовище пропонується здійснювати за концентрацією шкідливих газів у пилогазовій хмарі, розрахованій з урахуванням газів, поглинутих забійкою.

$$C_{шг} = \frac{M_{сум} - M_{погл.г.}}{V_{ПГХ} - V_{погл.г.}}, \quad (3)$$

де  $M_{сум}$  – сумарна маса шкідливих газів, кг;  $M_{погл.г.}$  – маса газів, поглинутих забійкою, кг;  $V_{ПГХ}$  – об’єм пилогазової хмари, м<sup>3</sup>;  $V_{погл.г.}$  – об’єм газів поглинутих забійкою, м<sup>3</sup>.

У разі наближення і цих результатів проводиться оцінка за економічними показниками на п’ятому етапі.

**ВИСНОВКИ.** 1. Розроблено конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених при вибуховому руйнуванні скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами.

2. Так для свердловини діаметром 250 мм та довжиною 16 м при діаметрі заряду 160 мм та довжині заряду 12 м та використанні Гранеміту – И30, загальна маса СаО, яка необхідна для поглинання діоксиду азоту та діоксиду вуглецю становить 71 кг. Маса цеоліту необхідна для повного поглинання оксиду вуглецю – 15 кг.

3. Вперше отримано та науково-обґрунтовано кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини в залежності від типу вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею при вибуху, та параметрів свердловини. Вперше оцінку впливу вибухової речовини на навколишнє середовище пропонується здійснювати за концентрацією шкідливих газів у пилогазовій хмарі, розрахованій з урахуванням газів, поглинутих забійкою.

4. Розроблено комплексний підхід щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом, який відрізняється від відомих тим, що на першому етапі здійснюється вибір за коефіцієнтом передачі енергії вибуху в масив, на другому – відбувається за можливості коригування хімічного складу вибухової речовини без зміни рецептури, на третьому – підбирається відповідний тип забійкового матеріалу, на четвертому етапі – за наявності альтернативних вибухових речовин проводиться їх порівняльна оцінка за впливом на довкілля з урахуванням матеріалів забійки, на п’ятому – проводиться оцінка за економічними показниками.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Перелет Т.Н., Крючков А.И., Кравец В.Г. Обоснование способа газоподавления и нейтрализации токсичных газов при массовых взрывах на карьерах. *Вісник НТУУ КПІ. Серія «Гірництво»*. 2010. Вип. 19. С. 178–181.

2. Бережецький А.Я., Вовк О.О. Применение пропарочных растворов для снижения пылегазовых выбросов при массовых взрывах. *Вісник НТУУ КПІ. Серія «Гірництво»*. 2004. Вип. 11. С. 72–78.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ  
І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

---

3. Кравець В.Г., Ткачук К.Н., Ган А.Л. Підвищення безпеки та ефективності підривних робіт з використанням спеціальних конструкцій свердловинних зарядів. *Вісник НТУУ КПІ. Серія «Гірництво»*. 2009. Вип. 10. С. 53–57.
4. Юрченко А.А. Снижение выбросов при массовых взрывах в карьерах путём применения резиновой пробки с анкерным устройством в качестве забойки скважинных зарядов. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2010. № 35. Т.2. С. 111–117.
5. Комир В.М., Блинков В.В., Ромашко А.М., Сокурено В.А. Влияние конструкции забойки на интенсивность дробления моделей из горных пород. *Вісник КДПУ*. 2007. Вип. 1/2007 (42). Ч. 1. С. 90–92.
6. Воробйов В.В. Ефективність використання раціональної конструкції набійки свердловинних зарядів. *Вісник НТУУ КПІ. Серія «Гірництво»*. 2000. Вип. 2. С. 51–53.
7. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В. Скважинные заряды с укороченной забойкой. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006. № 4. С. 139–146.
8. Кравець В.Г., Масюкевич А.М., Мизюк А.В., Ган А.Л. Влияние конструкции забойки на время её разрушения. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2006. Вип. 14. С. 101–110.
9. Воробьев В.Д., Захаров В.В., Бережецкий А.Я. и др. Снижение пылегазовых выбросов при массовых взрывах в карьерах. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2003. Вип. 8. С. 163–169.
10. Тыщук В.Ю. Исследования удельного пылегазовыделения при массовых взрывах в карьерах и способы снижения вредных выбросов. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2010. Вип. 1/2010 (5). С. 127–132.
11. Возгрин Р.А., Миронов Ю.А., Молдован Д.В. К вопросу о свойствах материала для изготовления скважинных и шпуровых забоек. *Проблемы геологии и освоения недр*. 2013. Вып. 11. Часть 2. С. 304–305.
12. Катанов И.Б., Скачилов П.Г. Совершенствование конструкции скважинного заряда с пеногелевой забойкой. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2015. № 5. С. 43–46.
13. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В., Галимьянов А.А., Рудницкий К.А. Особенности производственных испытаний комбинированных забоек взрывных скважин. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014. № 4. С. 97–107.
14. Лещинский А.В. Развитие конструкции забойки взрывных скважин. *Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ»*. 2014. Том 5. № 2. С. 66–71.
15. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В., Галимьянов А.А. Короткая комбинированная забойка взрывных скважин высокой запирающей способности. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015. № 5. С. 331–336.
16. Лещинский А.В., Шевкун Е.Б. Забойка взрывных скважин на карьерах: монографія. Хабаровск: ТОГУ, 2008. 224 с.

17. Звягинцева А.В., Завьялова А.Ю. Анализ основных технологических и инженерно-технических мероприятий, направленных на сокращение пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах горно-обогатительного комбината. URL: [https://updoc.site/download/5ad12b452ec12\\_pdf](https://updoc.site/download/5ad12b452ec12_pdf) (дата звернення: 06.06.2018).

18. Примиська С.О., Безносик Ю.О., Статюха Г.О., Решетіловський В.П. Перспективи очистки викидних газів теплоенергетики на синтетичних цеолітах. *Вісник НТУ "ХПІ": зб. наук. праць*. 2010. № 10. – С. 70–77.

19. Твердий В.В., Лучко І.А. Результати дослідження впливу параметрів вибухів нових промислових вибухових речовин на екологічний стан кар'єру та прилеглої території. *Вісник НТУУ КПІ. Серія «Гірництво»*. 2010. Вип. 19. С. 149–155.

## THE DESIGN OF BOREHOLE PLUG WITH A TWO-STAGE ABSORBING SYSTEM FOR HARMFUL GASES

**O. Tverda**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
prosp. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: tverdaya@ukr.net

**L. Plyatsuk**

Sumy State University

vul. Rymyskogo-Korsakova, 2, Sumy, 40007, Ukraine.

E-mail: info@ecolog.sumdu.edu.ua

**Purpose.** To develop a design for a borehole plug with a system of absorption of harmful gases formed during an explosion and to carry out a scientific substantiation of expediency of its introduction during mass explosions on quarries. **Methodology.** The design of the borehole plug based on the possible composition of the dust gases cloud is proposed. It provides two-stage purification from harmful gases and is based on chemisorption of gases by non-calcined lime and physico-chemical sorption (adsorption) by zeolites. **Results.** Quantitative and qualitative characteristics of the adsorbing composition in the borehole plug, depending on the type of explosive, the amount and type of harmful gases that it generates during the explosion, and the parameters of the well are received. The results of the study make it possible to assess the impact of explosives on the environment by concentration of harmful gases in a dust-gas cloud, calculated taking into account gases absorbed by the borehole plug. **Originality.** The design of the borehole plug which provides two-stage purification from harmful gases and is based on chemisorption of gases by non-calcined lime and physico-chemical sorption (adsorption) by zeolites is developed for the first time. Quantitative and qualitative characteristics of the adsorbing composition in the borehole plug, depending on the type of explosive and the parameters of the well, are received for the first time. An integrated approach to the selection of explosive for the purpose of explosive destruction of rocks in conjunction with the borehole plug material is offered for the first time. **Practical value.** The design of the borehole plug is simple and has a low cost. Therefore, it can be widely used in quarries for mining

rocks in an explosive way to reduce the impact on the environment. References 19, tables 2, figures 2.

**Key words:** borehole plug, borehole, charge, explosion, gases, adsorbent, quarry.

#### REFERENCES

1. Perelet, T.N., Kryuchkov, A.I., Kravets, V.G. (2010), "Justification of the method of gas suppression and neutralization of toxic gases at mass explosions in quarries", *Bulletin of NTUU KPI. Series "Mining"*, issue 19, pp. 178–181.
2. Berezhetsky, A.Ya., Vovk, O.O. (2004), "Application of evaporation solutions for reduction of dust and gas emissions during mass explosions", *Bulletin of NTUU KPI. Series "Mining"*, issue. 11, pp. 72–78.
3. Kravets, V.G., Tkachuk, K.N., Gan, A.L. (2009), "Improvement of safety and efficiency of blasting works using special designs of borehole charges", *Bulletin of NTUU KPI. Series "Mining"*, issue 10, pp. 53–57.
4. Yurchenko, A.A. (2011), "Decrease of emissions at mass explosions in quarries by using a rubber stopper with anchor device as a downfall of well charges", *Collection of scientific works of the National Mining University*, № 35, Т. 2, pp. 111–117.
5. Komir, V.M., Blinkov, V.V., Romashko, A.M., Sokurenko, V.A. (2007), "Influence of the structure of the dam on the intensity of crushing models from rocks", *Bulletin of KDFU*, issue 1/2007(42), pp. 90–92.
6. Vorobyov, V.V. (2000), "Efficiency of the use of rational design for the boreholes of borehole charges", *Bulletin of NTUU KPI. Series "Mining"*, issue 2, pp. 51–53.
7. Shevkun, E.B., Leshchinskiy, A.V. (2006), "Well-bearing charges with shortened damping", *Mining information and analytical bulletin*, No. 4, pp. 139–146.
8. Kravets, V.G., Masyukevich, A.M., Mizyuk, A.V., Gan A.L. (2006), "Influence of the structure of the damper on the time of its destruction", *Bulletin of the NTUU "KPI". Series "Mining"*, issue 14, pp. 101–110.
9. Vorobiev, V.D., Zakharov, V.V., Berezhetsky, A.Ya., and others (2003), "Reduction of dust and gas emissions during mass explosions in quarries", *Bulletin of the NTUU "KPI". Series "Mining"*, issue 8, pp. 163–169.
10. Tyshchuk, V.Yu. (2010), "Investigations of specific dust extraction during mass explosions in quarries and ways to reduce harmful emissions", *Modern resource-saving technologies of mining production*, issue 1/2010 (5), pp. 127–132.
11. Vozgrin, R.A., Mironov, Yu.A., Moldovan, D.V. (2010), "On the question of the properties of material for the production of wellbore and borehole fogs", *Problems of geology and development of subsoil*, issue 2 (11), pp. 304–305.
12. Katanov, I.B., Skachilov, P.G. (2015), "Improvement of the design of a well discharge with foam gauge zaboykoy", *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, № 5, pp. 43–46.
13. Shevkun, E.B., Leshchinsky, A.V., Halimyanov, A.A., Rudnitsky, K.A. (2014), "Features of production tests of combined bursts of explosive wells". *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, no. 4, pp. 97–107.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ  
І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

---

14. Leshchinsky, A.V. (2014), “Development of the design of bursting boreholes”, *Electronic scientific publication "Scientific notes of TOGU"*, vol. 5. no. 2, pp. 66–71.
15. Shevkun, E.B., Leshchinsky, A.V., Halimyanov, A.A. (2014), “Short combined bursting of high explosive wells”, *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, № 5, pp. 331–336.
16. Leshchinsky, A.V., Shevkun, E.B. (2008), *Zaboyka vzryvnykh skvazhin na kar'yerakh: monografiya* [Blasting boreholes on quarries: monograph], Khabarovsk: TOGU. p. 224.
17. Zvyagintseva, A.V., Zavyalova, A.Yu. Analysis of the main technological and engineering measures designed to reduce dust and gas emissions during mass explosions at quarries of the mining and processing plant. URL: [https://updoc.site/download/5ad12b452ec12\\_pdf](https://updoc.site/download/5ad12b452ec12_pdf) (Last accessed:06.06.2018).
18. Primiska, S.O., Beznosyk, Yu.O., Statyukha, G.O., Reshetylovsky, V.P. (2010), “Prospects of purification of exhaust gases of thermal power engineering on synthetic zeolites”, *Bulletin of the NTU "KhPI": Sb. sciences works*, № 10, pp. 70–77.
19. Tverdyy, V.V., Luchko, I.A. (2010), “Results of study of influence of parameters of explosions of new industrial explosives on the ecological state of the quarry and adjoining territory”, *Bulletin of the NTUU "KPI". Series "Mining"*, issue 19, pp. 149–155.

Стаття надійшла 25.05.2018.