

## СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ

**В. Д. Воробьев, докт. техн. наук, В. В. Захаров, инж. (ННИИОТ),  
А. Я. Березецкий, инж. (Госкомитет Украины по надзору за охраной  
труда), Э. И. Ефремов, докт. техн. наук (ИГТМ НАН Украины),  
В. В. Баранник, инж. (Докучаевский ФДК)**

*Обґрунтовано ефективність застосування пристрою управління енергією вибуху в набійці свердловинних зарядів за критеріями роботоздатності, швидкості вильоту набійки, об'єму пилегазової хмари і ступеня нейтралізації газів вибуху.*

Горнодобывающая промышленность характеризуется большой концентрацией горных работ, интенсивностью производственных процессов и технологических операций. Эти факторы в наибольшей степени проявляются при открытом способе разработки месторождений полезных ископаемых. Увеличение глубины карьеров, влекущее за собой уменьшение ширины рабочих площадок и ухудшение условий проветривания, отрицательно влияют на состояние окружающей среды. На буровзрывные работы приходится более 35 % общего объема загрязнений, вызванных технологическими причинами [1]. Дополнительным источником загрязнения по газовому фактору являются тротилосодержащие взрывчатые вещества (ВВ), имеющие отрицательный кислородный баланс [2]. Все это свидетельствует о важности борьбы с пылегазовыми выбросами при производстве взрывных работ в карьерах.

Решение указанной задачи может быть достигнуто двумя основными путями – созданием экологически чистых ВВ и разработкой средств и способов локализации пылегазовых выбросов в рабочую зону карьера (орошение взрываемого блока пород, применение различных типов забойки: водяной, саморасклинивающейся с полостями различной конфигурации, комбинированной с различными устройствами и др.).

Некоторые вопросы и тенденции развития в области создания простейших ВВ, в том числе и бестротилового, рассмотрены в работах [1–7]. Из анализа этих работ следует, что процесс пылегазовыделения зависит от многих факторов и требует комплексного подхода к разработке эффективных средств и методов его локализации [1].

Одним из эффективных способов снижения пылегазовых выбросов в атмосферу карьера является использование забойки специальных конструкций. Известно [8, 9], что основное назначение забойки – удержание продуктов детонации (ПД) в зарядной камере (скважине, шпуре) и увеличение полезной работы взрыва на дробление горных пород. Это обеспечивает более длительный импульс взрыва с меньшим скачком давления [10], что является

основным фактором повышения степени полезного использования энергии взрыва в процессе разрушения горных пород.

Проведенными ранее экспериментальными исследованиями [11] установлены зависимости величины смещения во времени водяной забойки, а также забойки из щебня, песка и глины при верхнем и нижнем инициировании зарядов различной массы. Для этих случаев рассмотрен механизм ее вылета из зарядной полости. Однако анализ полученных результатов не позволяет сделать однозначных выводов о преимуществе того или иного типа забойки, поскольку не все их параметры сопоставимы.

В работе [12] по результатам модельных экспериментов установлена зависимость изменения количества газообразных продуктов взрывчатого превращения, прорвавшихся через забойку, от ее длины, а также зависимость величины вновь образованной поверхности от количества ПД и отношения длины забойки к диаметру заряда. При этом оптимальная длина забойки находится в пределах 3,6...9 диаметров заряда. При разрушении скальных пород в условиях разрезов Кузбасса [13] такая величина забойки колеблется в пределах от 10 до 25 диаметров заряда. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также опыт взрывных работ свидетельствуют о том, что рациональная длина забойки зависит от свойств взрывааемых пород, забоечного материала и ВВ, диаметра скважины, высоты уступа, линии сопротивления по подошве уступа и варьируется в диапазоне от 10 до 40 диаметров зарядов [14]. Однако анализ указанных работ [1-14] показал, что они не могут быть использованы для оценки работоспособности и экологической чистоты массовых взрывов.

В работах [15, 16] приведены сведения об эффективности применения устройства управления энергией взрыва (УУЭВ), которое повышает использование энергии взрыва на дробление пород и снижает объем выброса пылегазового облака в атмосферу. Такое устройство располагают в скважине непосредственно над колонкой заряда ВВ, а оставшуюся часть скважины заполняют забойкой из сыпучего материала (щебень, отсев, песок и др.). Устройство овальной формы, диаметр которого равен диаметру скважины, представляет собой пластиковую капсулу с закрепленным в ней элементом с извостью. Оболочкой элемента является полиэтиленовый рукав (рис. 1). Пластиковая капсула на  $\frac{1}{2}$  диаметра от верхней ее кромки разделена на секторы в виде лепестков, что способствует увеличению силы трения забойки о стенки скважины в процессе ее движения под действием давления ПД. Увеличение силы трения достигается за счет расклинивания лепестков капсулы при движении в направлении вылета забойки. Взаимодействие извести с ПД способствует их частичной адсорбции и уменьшает общий объем выброса газов из скважины.

Целью настоящей работы явилось проведение дополнительных исследований по обоснованию эффективности и экологической безопасности одиночных и групповых зарядов ВВ с применением УУЭВ в забойке скважин.

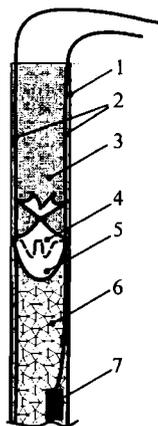


Рис. 1. Конструкция скважинного заряда ВВ с УУЭВ в забойке из сыпучего материала: 1 - скважина; 2 - ДШ; 3 - забойка; 4 - элемент с известью; 5 - пластиковая капсула; 6 - ВВ; 7 - верхний боевик

Эффективность действия комбинированной забойки с использованием УУЭВ была проверена при взрывах одиночных и групповых скважинных зарядов ВВ на карьерах Докучаевского флюсо-доломитного комбината (ДФДК).

Отличительной особенностью исследуемой конструкции заряда от принятой на карьере являлось наличие УУЭВ между ВВ и материалом забойки.

Параметры одиночных (укороченных) скважинных зарядов: масса - 40 кг; глубина скважины - 3 м; диаметр скважины - 250 мм; масса боевика (две шашки ТГ-400) - 0,8 кг; тип ВВ - граммонит 79/21; количество вариантов конструкций зарядов - 2. По результатам взрыва зарядов оценивалась работоспособность  $A$ , определяемая по ее относительной величине с помощью метода воронкообразования:

$$A = V_b / V'_b, \quad (1)$$

где  $V_b$  и  $V'_b$  - объем воронки выброса от взрыва зарядов с обычной забойкой и с УУЭВ,  $\text{м}^3$ .

Объем воронки выброса

$$V_b = \frac{\pi}{12} d_{\max} d_{\min} h_b, \quad (2)$$

где  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$  - максимальный и минимальный диаметры воронки, м;  $h_b$  - глубина воронки выброса, м.

Анализ результатов обработки экспериментальных данных (таблица) показывает, что величина  $A$  при взрывах одиночных скважинных зарядов с УУЭВ превышает таковую при взрывах зарядов с обычной забойкой в 1,85 раза.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

определение работоспособности одиночных зарядов ВВ с размещенными в забойке УУЭВ;

экспериментальное обоснование по сравнительной оценке скорости вылета забойки из скважины с УУЭВ и без нее при массовых взрывах;

определение объемов пылегазового облака в зависимости от конструкции забойки скважин при массовых взрывах;

обоснование степени нейтрализации вредных газов взрыва за счет использования в УУЭВ гашеной извести.

Эффективность действия комбинированной забойки с использованием УУЭВ была проверена при взрывах одиночных и групповых скважинных зарядов ВВ на карьерах Докучаевского флюсо-доломитного комбината (ДФДК).

Отличительной особенностью исследуемой конструкции заряда от принятой на карьере являлось наличие УУЭВ между ВВ и материалом забойки.

Параметры одиночных (укороченных) скважинных зарядов: масса - 40 кг; глубина скважины - 3 м; диаметр скважины - 250 мм; масса боевика (две шашки ТГ-400) - 0,8 кг; тип ВВ - граммонит 79/21; количество вариантов конструкций зарядов - 2. По результатам взрыва зарядов оценивалась работоспособность  $A$ , определяемая по ее относительной величине с помощью метода воронкообразования:

$$A = V_b / V'_b, \quad (1)$$

где  $V_b$  и  $V'_b$  - объем воронки выброса от взрыва зарядов с обычной забойкой и с УУЭВ,  $\text{м}^3$ .

Объем воронки выброса

$$V_b = \frac{\pi}{12} d_{\max} d_{\min} h_b, \quad (2)$$

где  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$  - максимальный и минимальный диаметры воронки, м;  $h_b$  - глубина воронки выброса, м.

Анализ результатов обработки экспериментальных данных (таблица) показывает, что величина  $A$  при взрывах одиночных скважинных зарядов с УУЭВ превышает таковую при взрывах зарядов с обычной забойкой в 1,85 раза.

### Результаты расчета значений $A$ при взрывах одиночных скважинных зарядов с забойкой различной конструкции

Наименование показателей	Значение показателей при взрывах зарядов с забойкой	
	с УУЭВ	без УУЭВ
Количество взрывов, шт.	4	3
Диаметр воронки выброса, м:		
максимальный	4,40	3,60
минимальный	4,20	3,20
средний	4,30	3,40
Глубина воронки выброса, м	0,44	0,38
Объем воронки выброса, м <sup>3</sup>	2,13	1,15
Работоспособность	1,85	1,00

Массовые взрывы скважинных зарядов были выполнены на экспериментальных блоках карьеров ДФДК: восточном, гор. +63 м (экс. № 55) – 25.12.2002 г. и центральном, гор. +100 м (экс. № 46) – 17.07.2003 г. Процесс взрыва регистрировался видеокамерой. По результатам кадровой обработки видеоматериалов построены графические зависимости изменения скорости вылета  $V$ , высоты подъема  $h$  и времени вылета  $t$  забойки из скважин на контрольных и опытных блоках карьеров. На рис. 2 приведены зависимости  $V = f(t)$  (а) и  $h = f(t)$  (б), на рис. 3 – зависимость  $\Delta t = f(h)$ , где  $t_2 - t_1 = \Delta t$  ( $t_1$  и  $t_2$  – время при фиксированной высоте подъема забойки с УУЭВ и без нее).

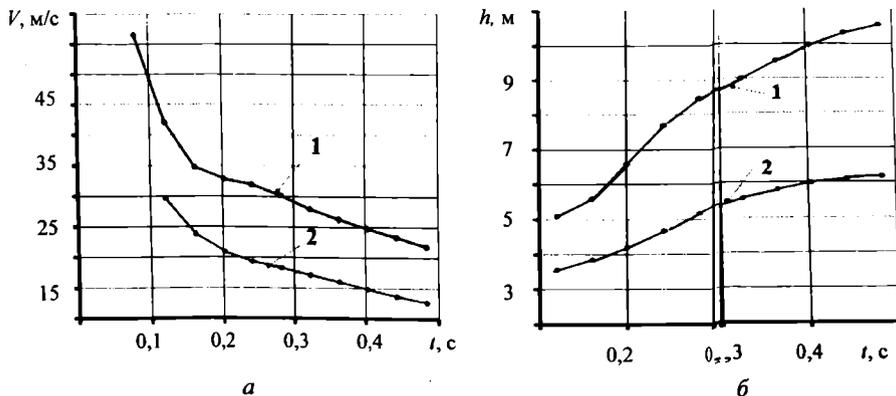
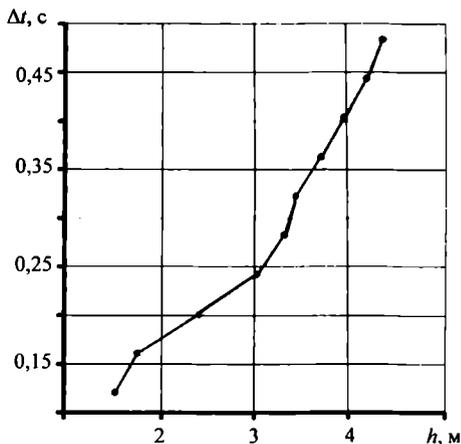


Рис. 2. Зависимости изменения  $V$  (а) и  $h$  (б) от  $t$ : 1 – по контрольному блоку (обычная забойка); 2 – по экспериментальному блоку (забойка с УУЭВ)

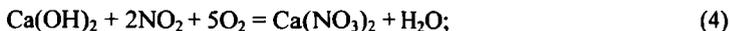
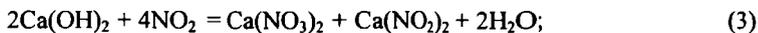
Рис. 3. Зависимость изменения  $\Delta t$  от  $h$ 

Из анализа рис. 2 видно, что во всех случаях более эффективной является забойка с УУЭВ. Величина  $V$  для забойки с УУЭВ (см. рис. 2, а, кривая 2) по сравнению с обычной забойкой (кривая 1) меньше в среднем в 1,8 раза, а величина  $h$  (см. рис. 2, б) — в 1,6 раза.

Длительность вылета забойки с УУЭВ по сравнению с обычной забойкой в интервале изменения  $h$  от 1,5 до 4,4 м значительно больше. При этом разница во времени  $\Delta t = f(h)$ , возрастает от 0,12 до 0,48 с (см. рис. 3).

Сравнительная оценка объемов пылегазового облака над экспериментальным и контрольным блоками пород в зависимости от выбора момента его окончательного формирования показывает, что величина этого облака над экспериментальным блоком также меньше в 2,7...3,8 раза.

Наличие гашеной извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в качестве составной части УУЭВ способствует нейтрализации газообразных продуктов взрыва в процессе детонации ВВ, содержащих аммиачную селитру (акватол ГЛТ-20, граммонит 79/21, игданит и др.). Соединение  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  относится к сильным основаниям и энергично взаимодействует с кислотными оксидами  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  по следующим реакциям:



Анализ материального баланса уравнений (3)...(6) показывает, что 1 кг извести при нормальных условиях поглощает 605,4 л  $\text{NO}_2$  или  $\text{CO}$ , или 302,7 л  $\text{CO}_2$ . При положительном кислородном балансе ВВ в продуктах взрыва

содержатся преимущественно  $\text{NO}_2$  и  $\text{CO}_2$ . Тогда при оценке термодинамической вероятности протекания реакций (1), (2) и (4) критерием направленности является сродство или изменение свободной энергии Гиббса ( $\Delta G$ ), определяемое из соотношения

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - T\Delta S_T^\circ, \quad (7)$$

где  $\Delta H_T^\circ$  – тепловой эффект реакции при соответствующей температуре;  $\Delta S_T^\circ$  – изменение энтропии в ходе процесса.

При нормальных условиях ( $T = 298 \text{ К}$ ,  $P = 1,013 \text{ Па}$ ) изменение свободной энергии [17] для реакций (3) и (4) составило  $-250 \dots 270 \text{ кДж/моль}$ , а для реакции (6)  $\Delta G_T^\circ = -65 \text{ кДж/моль}$ . Поэтому термодинамическая вероятность протекания реакций (3) и (4) выше, чем реакции (6).

Исходя из данного условия, получаем, что 10 кг гашеной извести способны нейтрализовать 6000 л  $\text{NO}_2$ . Согласно [18] при небольшом отрицательном кислородном балансе ВВ кислород будет последовательно окислять водород до состояния  $\text{H}_2\text{O}$ , затем до  $\text{CO}$ , а оставшаяся часть образует  $\text{CO}_2$ . Тогда реакция (5) поглощения  $\text{CO}$  гашеной известью с образованием формиата кальция [19] будет более вероятной, чем реакция (6) и 10 кг  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  способны также нейтрализовать 6000 л  $\text{CO}$ .

При взрыве ВВ с кислородным балансом, близким к нулевому, выделяется не более 5 л/кг  $\text{NO}_2$  и 10 л/кг  $\text{CO}$ . Если УУЭВ содержит 10 кг извести на один заряд массой 600...8000 кг аммиачно-селитренного ВВ, то возможна полная нейтрализация  $\text{NO}_2$  и снижение содержания  $\text{CO}$  в продуктах взрыва на 40...60 %.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования УУЭВ как элемента забойки скважинных зарядов в технологии взрывных работ.

1. *Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / Э. И. Ефремов, П. В. Бересневич, В. Д. Петренко и др. – Днепропетровск: Січ, 1996. – 179 с.*

2. *Крысин Р. С. Перспективы и пути перехода горнодобывающих отраслей Украины на новый тип экологически чистых ВВ // Промышленные взрывчатые вещества и средства их инициирования. – Шостка. – 1995. – Вып.1. – С. 40–43.*

3. *Ефремов Э. И., Петренко В. Д., Джос В. Ф. Опыт и перспективы применения простейших бестротилового ВВ со стабильными физическими и детонационными свойствами и ВВ на основе конверсии // Промышленные взрывчатые вещества и средства их инициирования. – Шостка. – 1995. – Вып.1. – С. 8–13.*

4. *Крысин Р. С., Домничев В. Н. Современные взрывчатые вещества местного приготовления. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 140 с.*

5. Крысин Р. С. Новые взрывчатые вещества // Горный журнал. – 1999. – № 6. – С. 45–47.
6. Прокопенко В. С., Косьмин И. В., Лещ П. Л. Совершенствование и разработка взрывчатых веществ местного приготовления // Охрана труда. – К.: ННДИОП. – 2001. – Вып. 4. – С. 161–165.
7. Прокопенко В. С., Туручко І. І., Косьмін І. В. Нові вибухові речовини місцевого приготування // Проблеми охорони праці в Україні: Зб.наук.праць. – К.: ННДИОП. – 2001. – Вип. 4. – С. 161–165.
8. Александрова Н. И., Шер Е. Н. Влияние утечек газов из полости взрыва сферического заряда на разрушение горных пород // ФТПРПИ. – 2000. – № 5. – С. 43–53.
9. Александрова Н. И., Шер Е. Н. Влияние забойки на разрушение горных пород взрывом цилиндрических зарядов // ФТПРПИ. – 1999. – № 5. – С. 37–44.
10. Техника и технология взрывных работ на рудниках / Г. П. Демидюк, Л. В. Дубнов, В. В. Стоянов и др. – М.: Наука, 1987. – 238 с.
11. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах / Э. О. Миндели, Н. Ф. Кусов, А. А. Корнеев, Г. М. Марцинкевич. М.: Недра, 1978. – 253 с.
12. Ефремов Э. И., Родак С. Н. Роль забойки скважинного заряда в запираии газообразных продуктов детонации // Повышение эффективного разрушения горных пород. – К.: Наук. думка. – 1991. – С. 3–8.
13. Ретин Н. Я. Подготовка и экскавация вскрышных пород угольных разрезов. М.: Наука, 1974. – 222 с.
14. Ташинов А. С., Бирюков А. В. Роль и эффективность забойки при взрыве скважинного заряда // Открытая разработка угольных месторождений. – Кемерово. – 1987. – С. 10–17.
15. Ефремов Э. И., Мартыненко В. П., Бережецкий А. Я. Способ повышения эффективности взрыва и локализации пылегазовых выбросов // Вісник Кременчуцького держ. політех. ун-ту. – Кременчук: КДПУ. – 2002. – Вип. 2/2002 (13). – С. 3–5.
16. Ефремов Э. И., Мартыненко В. П. Способы повышения полезного действия взрыва // Инф. бюллетень. Украинский союз инженеров-взрывников. Комсомольск: УСИВ. – 2002. – № 2. – С. 6–10.
17. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А. А. Равеля, А. М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983. – 232 с.
18. Физика взрыва / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович и др. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
19. Химическая энциклопедия. – М.: Сов. энциклопедия, 1990, Т.2.–587 с.