

УДК 622.235.5:504.3.054:504.064

Холоденко Т.Ф. магистр

(ГП «НПО «Павлоградский химический завод»)

**ИЗМЕНЕНИЕ ЭМИССИИ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ В АТМОСФЕРЕ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЗРЫВАНИЯ ЗАРЯДОВ
ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

Холоденко Т.Ф., магистр

(ДП «НВО «Павлоградський хімічний завод»)

**ЗМІНА ЕМІСІЇ ПРОДУКТІВ ДЕТОНАЦІЇ В АТМОСФЕРУ ЗАЛЕЖ-
НО ВІД УМОВ ПІДРИВАННЯ ЗАРЯДІВ
ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН**

Kholodenko T.F., M.S (Tech)

(State Enterprise «SPA «Pavlograd Chemical Plant»)

**CHANGE IN DETONATION PRODUCT EMISSION INTO THE ATMOS-
PHERE DEPENDING ON BLASTING CONDITIONS OF
CHARGES OF EMULSION EXPLOSIVE**

Аннотация. В результате проведенных исследований установлено, что меняющиеся условия взрывания эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), в частности зарядов, рассредоточенных инертным промежутком, являются причиной изменения состава продуктов детонации и увеличения эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу. При этом выполнена оценка условий развития детонации в модельном заряде ЭВВ с инертными промежутками различной конструкции. Показано, что нарушение последовательности (или синхронности) инициирования элементов рассредоточенного заряда приводит к уплотнению той части заряда, которая взрывается с запаздыванием. Вследствие этого в нем снижается скорость и давление детонации, что, в конечном итоге, приводит к увеличению эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу, в частности оксида углерода. При этом установлена зависимость ее концентрации от снижения плотности ЭВВ. Минимизировать эмиссию можно путем оптимизации конструкции инертного промежутка или совершенствованием системы инициирования зарядов ЭВВ.

Ключевые слова: эмиссия загрязняющих веществ, эмульсионные взрывчатые вещества, рассредоточенный заряд, состав продуктов детонации.

Введение. Эмиссия загрязняющих веществ в атмосферу при оптимальных условиях взрывания зарядов эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) определяется регламентом на их изготовление и, в определенной степени, меняется под влиянием «внутренних» факторов, т.е. от изменчивости компонентного состава (рецептуры ЭВВ). Однако при практическом применении могут меняться условия взрывания зарядов, сформированных в скважинах, в частности при взрывании удлиненных зарядов, рассредоточенных инертным промежутком [1,2], [Э.И. Ефремов, 1979], [Э.И. Ефремов, 1984].

Метод рассредоточения заряда инертными промежутками, состоящими из воздуха или породной мелочи, позволяет рационально использовать потенциальную энергию взрыва и снизить удельные энергозатраты при необходимом качестве дробления горных пород [Э.И. Ефремов, 1984], [3,4]. Это достигается тем, что в отличие от зарядов сплошной конструкции, при взрыве рассредоточенного заряда на стенки взрывной камеры по всей длине скважины воздействует взрывной импульс различной интенсивности и продолжительности, приводящий к образованию неоднородного поля напряжений, которое способствует интенсификации дробления горных пород [4-6].

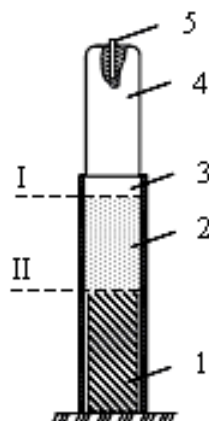
Продолжительность действия упомянутого взрывного импульса определяется механизмом взаимодействия отдельных частей заряда при взрыве. Так, при одновременном (синхронном) инициировании элементов заряда, рассредоточенных воздушным промежутком, соударение движущихся встречно друг другу газодинамических потоков происходит в центральной части промежутка. При неодновременном инициировании элементов заряда точка соударения волн напряжения будет смещаться в сторону заряда с более высоким интервалом замедления инициирования взрыва, что неизбежно приведет к изменению параметров поля напряжения в нем, а также изменению свойств ЭВВ и состава продуктов детонации, т.е. эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу. Таким образом, изменяя расстояние и интервалы инициирования между отдельными частями заряда ВВ в скважине, представляется возможным управлять не только процессом разрушения горных пород, но также влиять на эмиссию продуктов детонации, а, следовательно, и степень загрязнения атмосферы при взрывных работах в карьерах [7-9].

Для управления действием взрыва разработаны различные конструкции зарядов, применяются системы инициирования (СИ), которые позволяют создавать схемы взрывания различной сложности и временным замедлениям, в том числе и для инициирования отдельных частей рассредоточенного заряда. Однако в случае ошибки расчета или погрешности срабатывания внутрискважинных интервалов замедлений в рассредоточенном заряде существует вероятность «подбоя», когда на элемент заряда ВВ воздействует волна сжатия, способная привести к изменению взрывчатых свойств упомянутого элемента и объемов продуктов детонации [8-10].

Целью работы являлась оценка эмиссии загрязняющих веществ – продуктов детонации, при меняющихся условиях взрывания зарядов ЭВВ, рассредоточенных инертным промежутком, путем анализа механизма воздействия газодинамического потока продуктов детонации через элемент инертного промежутка на физико-химические характеристики и термодинамические условия взрывчатого превращения ЭВВ.

Основная часть. Анализ механизма воздействия и оценка влияния ударных нагрузок на элементы рассредоточенного заряда выполнены при участии автора на модельных скважинах диаметром 42 мм. На дне такой скважины размещали заряд «свидетель» газифицированной эмульсии с плотностью $1,0 \text{ г/см}^3$, который подвергался действию волны сжатия без его подрыва. Над этим зарядом из по-

родной мелочи формировали инертный промежуток, а выше размещали заряд ВВ, создающий волну давления. Общая схема проведения эксперимента представлена на рис. 1.



1 – исследуемый заряд «свидетель»; 2 – инертный промежуток; 3 – воздушный промежуток;
4 – заряд ВВ; 5 – детонатор типа КД №8

Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента для определения свойств элемента модельного заряда, который подвергался действию волны напряжения

Геометрические параметры элементов конструкции инертного промежутка модельных скважин приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры элементов заряда в модельных скважинах

Длина промежутков модельного заряда:	Значения длины промежутка согласно номеру модельной скважины					
	1	2	3	4	5	6
- инертный промежуток, мм	210,0	420,0	630,0	380,0	290,0	210,0
- воздушный промежуток, мм	0,0	0,0	0,0	40,0	130,0	210,0

Для возбуждения волны напряжения в модельной скважине использовали заряд ЭВВ диаметром 40 мм, который размещали в верхней части модельной скважины. Создаваемое этим зарядом давление детонации (в точке Чемпена-Жуге) определяли по формуле:

$$P_{жс} = \frac{\rho_{ВВ} \cdot D_{ВВ}^2}{k + 1}, \quad (1)$$

где ρ – плотность ВВ, кг/м куб; D – скорость детонации, м/с; k – коэффциент продуктов детонации (в случае ЭВВ k равен 3).

Для оценки давления на границе I – ВВ с инертным промежутком (рис. 1) использовали уравнение состояния конденсированной среды, основанное на ее ударной адиабате, представленной в виде линейного уравнения

$$D = c_0 + \lambda \cdot u, \quad (2)$$

где c_0 – скорость звука в породе; λ – предельное сжатие породы; u – массовая скорость частиц за фронтом ударной волны.

Расчет параметров ударной адиабаты для многокомпонентной пористой среды инертного промежутка выполняли с использованием методики [5,6].

Для оценки давления на границе II (инертный промежуток – заряд «свидетель») использовали уравнение:

$$P_{II} = P_I \left[e^{\mu \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{l}{\omega} \right) \cdot h} \right]^{-1}, \quad (3)$$

где μ – коэффициент Пуассона; ε – коэффициент бокового распора; l и ω – периметр поперечного и площадь поперечного сечения заряда; h – высота инертного промежутка.

Результаты расчетов давлений детонации и на границах раздела элементов заряда I и II в модельной скважине приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Расчетные значения давлений детонации и на границах раздела элементов заряда I и II в модельной скважине

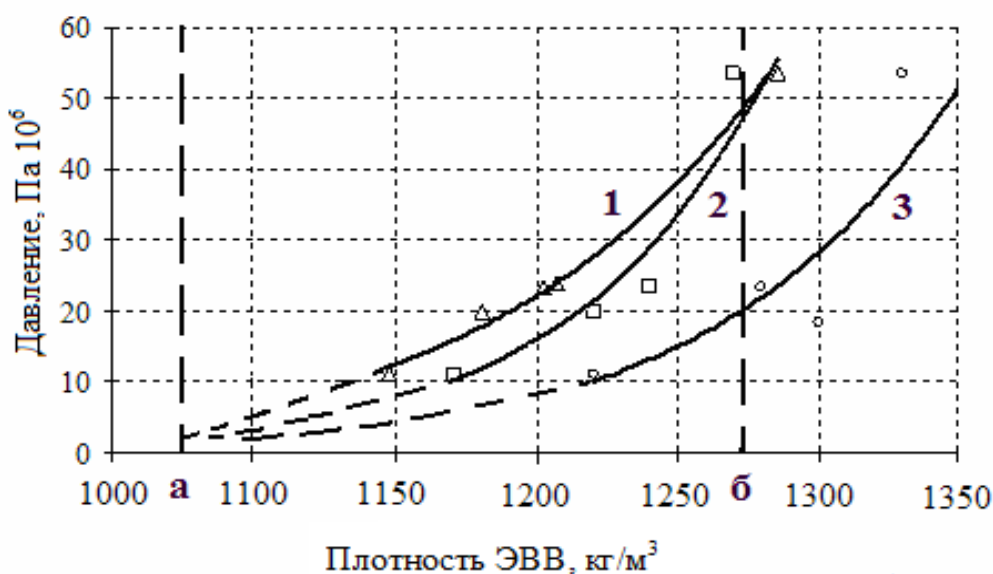
Наименование показателей	Значение показателя согласно номеру модельной скважины					
	1	2	3	4	5	6
Давление в точке Чемпена-Жуге, ГПа	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Давление на границе I, Па	$1,24 \cdot 10^8$	$1,24 \cdot 10^8$	$1,24 \cdot 10^8$	$1,15 \cdot 10^8$	$1,02 \cdot 10^8$	$0,94 \cdot 10^8$
Давление на границе II, Па	$5,35 \cdot 10^7$	$2,39 \cdot 10^7$	$1,11 \cdot 10^7$	$2,34 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^7$	$1,85 \cdot 10^7$

Испытания были выполнены для зарядов «свидетелей» с вязкостью эмульсии $35 \cdot 10^3$, $65 \cdot 10^3$ и $100 \cdot 10^3$ сПа. После испытания заряд «свидетель» извлекали из модельной скважины и определяли его плотность. По результатам выполненных измерений установлено, что плотность ЭВВ имеет неоднородное распределение по длине заряда. Так, относительное изменение плотности на участке 1/3 заряда со стороны воздействия волны сжатия составило до 25%. Для участка 2/3 аналогичный показатель оставался на уровне 10-12%, что объясняется снижением давления в волне по мере уплотнения материала промежутка. По данным эксперимента была получена зависимость изменения плотности ЭВВ на участке 1/3 заряда от давления волны сжатия, которая представлена на рис. 2.

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что под воздействием волны сжатия с давлением ~ 10 -60 МПа плотность в образцах ЭВВ увеличивается в 1,14-1,33 раза. При этом после снятия нагрузки «конечная» плотность ЭВВ в образцах с вязкостью эмульсии $100 \cdot 10^3$ сПа на 3,8-8,3% выше, чем для

ЭВВ с меньшей вязкостью эмульсии. Очевидно, такая закономерность объясняется тем, что с увеличением вязкости эмульсии изменяются ее упруго-пластичные свойства, вследствие чего при сжатии в гетерогенной структуре, насыщенной пузырьками воздуха, возрастает остаточная деформация. В зарядах с меньшей вязкостью эмульсии после снятия нагрузки объем пузырьков воздуха возвращается в исходное состояние, при этом остаточная деформация будет обусловлена миграцией пузырьков за пределы заряда.

Для большинства ЭВВ с химической газификацией эффективный диапазон плотности, при котором достигаются заданные взрывчатые характеристики, составляет $1,05-1,27 \text{ г/см}^3$ ($1050-1270 \text{ кг/м}^3$). При плотности ЭВВ более $1,27 \text{ г/см}^3$ в заряде становится недостаточно «горячих точек», вследствие чего происходит снижение скорости детонации вплоть до перехода в дефлаграционный режим, т.е. горение.



1 – для заряда с вязкостью эмульсии $33 \cdot 10^3$ сПа; 2 – для заряда с вязкостью эмульсии $65 \cdot 10^3$ сПа; 3 – для заряда с вязкостью эмульсии $100 \cdot 10^3$ сПа; (интервал а-б характеризует эффективный диапазон плотности, при котором достигаются заданные взрывчатые характеристики)

Рисунок 2 – Зависимость изменения плотности ЭВВ от давления в волне напряжения

Зависимость скорости детонации от плотности ЭВВ определяется уравнением параболы вида [6]:

$$D_{ЭВВ} = -a \cdot \rho_{эвв}^2 + b \cdot \rho_{эвв} - c, \text{ м/с} \quad (4)$$

где $D_{ЭВВ}$ – скорость детонации ЭВВ, м/с; $\rho_{эвв}$ – плотность ЭВВ, г/см^3 ; эмпирические коэффициенты: $a=11263$, $b=26156$, $c=10998$.

Экстремум параболы локализован в области значений плотности $\rho=1120-1220 \text{ кг/см}^3$, при которых скорость детонации уменьшается не более, чем на 0,5%, где и достигаются заданные (оптимальные) взрывчатые характеристики ЭВВ. Выход из этой области ведет к существенному падению давления детона-

ции, вследствие чего возрастает вероятность изменения качественно-количественных характеристик состава продуктов взрыва и увеличению эмиссии CO.

В этой связи была выполнена теоретическая оценка изменения концентрации CO в составе продуктов детонации при снижении давления взрывчатого превращения в ЭВВ со слабо отрицательным кислородным балансом, равным -0,35%, т.е. уже предрасположенного к образованию CO. Упомянутая оценка проводилась на основе термодинамического расчета с использованием специализированного программного пакета «Астра». Результаты выполненной оценки приведены на рис. 3.

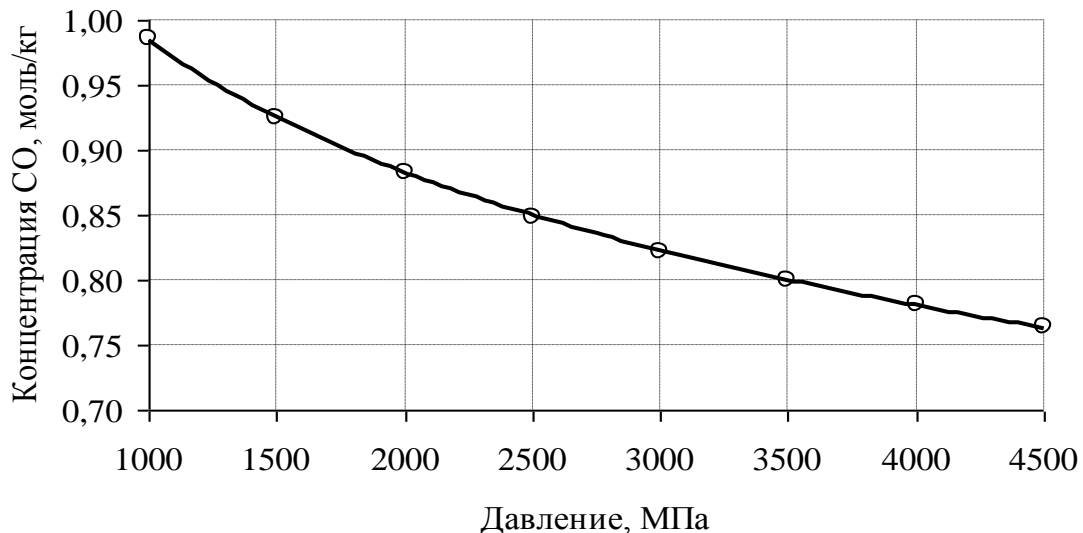


Рисунок 3 – Зависимость изменения концентрации оксида углерода (CO) в составе продуктов взрыва ЭВВ от давления детонации

Приведенная на рис. 3 зависимость аппроксимирована уравнением вида

$$K_{CO} = -0,1474 \ln(P_D) + 2,0026, \quad R^2 = 0,95, \quad (5)$$

где K_{CO} – концентрация CO, моль/кг; P_D – давление детонации, МПа.

С последовательным использованием зависимостей (4), (1) и (5) представляется возможным построить зависимость концентрации оксида углерода (CO) в составе продуктов взрыва от плотности ЭВВ, которая представлена на рис. 4.

Для выполнения расчетов представленную на рис. 4 зависимость можно с высокой достоверностью ($R^2=1$) аппроксимировать полиномом третьей степени:

$$K_{CO} = -0,0388 \rho^3 + 1,0052 \rho^2 - 2,3041 \rho + 2,1254$$

или более простым полиномом второй степени:

$$K_{CO} = 0,8703 \rho^2 - 2,1484 \rho + 2,0658$$

где K_{CO} – концентрация CO, моль/кг; ρ – плотности ЭВВ, г/см³ (здесь размерность г/см³ вместо кг/м³ выбрана для удобства представления приведенных аналитических зависимостей и выполнения вычислений).

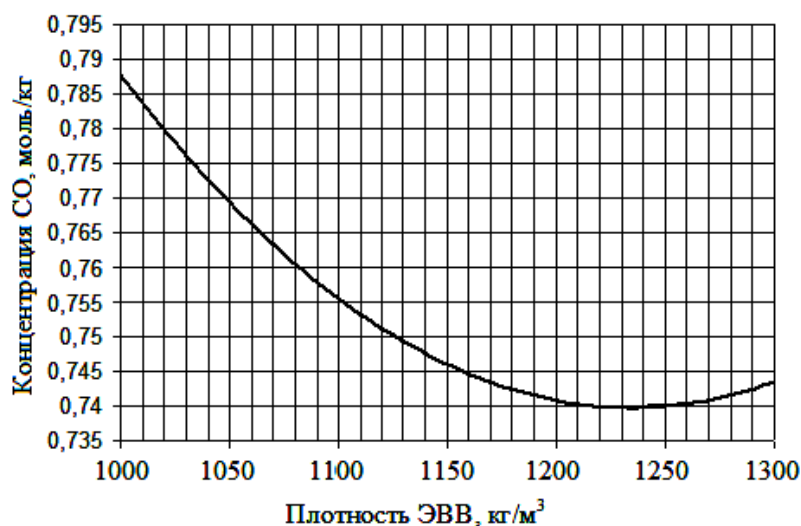


Рисунок 4 – Залежність концентрації оксиду вуглецю (CO) в складі продуктів вибуха від щільності ВВВ

Аналіз залежностей показує, що при нормальних умовах мінімальна концентрація CO в продуктах детонації $K_{CO}=0,739$ моль/кг спостерігається при щільності ВВВ близько 1235 кг/м^3 ($1,235 \text{ г/см}^3$). При збільшенні щільності зростає ймовірність дефлаграційних процесів і зростає концентрація оксидів вуглецю і азоту. Тому, з точки зору управління вибухами CO, прийнятною є лівий гілок графіка, наведеного на рис. 4. Так, зменшення щільності ВВВ від 1235 до 1050 кг/м^3 призведе до збільшення концентрації CO до $K_{CO}=0,77$ моль/кг, т.е. збільшиться на 4%, а при щільності 900 кг/м^3 , допустимій з точки зору ефективності вибуха, до $K_{CO}=0,84$ моль/кг, або зросте на 13,5%.

Таким чином, за заданими значеннями щільності вибухового заряду ВВВ можна прогнозувати емісію CO, а значить, і керувати його вибухом в атмосферу при вибухових роботах. Мінімізувати негативний вплив такого фактора можна шляхом оптимізації конструкції інертного проміжку або удосконаленням СИ вибухання елементів заряду ВВВ.

Висновки. В результаті виконаних досліджень встановлено, що змінюючіся умови вибухання ВВВ, зокрема порушення послідовності (або синхронності) ініціювання елементів розподіленого заряду, призводить до ущільненню елемента з більш пізнім вибуханням, зменшенню швидкості і тиску його детонації, що, в кінцевому підсумку, веде до збільшенню емісії оксидів вуглецю і азоту. Встановлено також залежність концентрації оксиду вуглецю (CO) в складі продуктів вибуха від зменшення щільності ВВВ. Так, її зміна від оптимального значення – 1235 кг/м^3 до допустимого, з точки зору ефективності вибуха 900 кг/м^3 призведе до збільшенню концентрації CO від $0,739$ моль/кг до $0,84$ моль/кг або на 13,5%.

Мінімізувати негативний вплив фактора щільності можна шляхом оптимізації конструкції інертного проміжку, вибором початкової щільності ВВВ або удосконаленням системи ініціювання (СИ) вибухання елементів заряду.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Устименко, Е.Б. Оценка внутренних параметров влияния ЭВВ, в том числе с продуктами переработки ТРТ, на окружающую среду при их использовании на взрывных работах / Е.Б. Устименко, Т.Ф. Холоденко // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково виробничий збірник КДПУ. – 2009 – №2(4) – С.62-71.
2. Shyman, L. Disposal and destruction processes of ammunition, missiless and explosives, which constitute danger when storing / L. Shyman, Y. Ustimenko // NATO Security through Science Series C: Environmental Security, 2009. – P. 147-152.
3. Ефремов, Э.И. Опыт использования простейших ВВ на карьерах Украины / Ефремов Э.И. // Украинский союз инженеров горняков. Информационный бюллетень – 2010 – №4. – С. 9–11.
4. Куринной, В.П. Влияние волновых процессов в зарядной полости на разрушение массива горных пород / В.П. Куринной, И.П. Гаркуша // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України, 2007. – Вип. 73. – С. 132-135.
5. Исследование детонационных характеристик шпуровых зарядов патронированных ЭВВ / Кириченко А.Л., Е.Б. Устименко Е.Б., Шиман Л.Н., Политов В.В. // Науковий вісник НГУ. – 2012 – №6. – С. 37-41.
6. Оптимизация способов заряжания и инициирования шпуровых зарядов патронированных ЭВВ марки «ЕРА» при проходческих работах в углепородных массивах // А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман [и др.] / Вісник КНУ ім. Михайла Остроградського – Кременчук: КНУ 2012. – Вип. 2/2012 (73), Частина 2. – С. 84-87.
7. Козловская, Т.Ф. Пути снижения уровня экологической опасности в районах добычи полезных ископаемых открытым способом. / Т.Ф. Козловская, В.Н. Чебенко // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2010. – № 6(65). Ч. 1. – С. 163-168.
8. Способы и средства повышения экологической безопасности массовых взрывов в железорудных карьерах по пылевому фактору: моногр. / В.Е. Колесник, А.А. Юрченко, А.А. Литвиненко, А.В. Павличенко // Днепропетровск: Литограф, 2014. – 112 с.
9. Khomenko, O. Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere / O. Khomenko, M. Kononenko, I. Myronova. // Annual Scientific-Technical Colletion - Mining of Mineral Deposits, Leiden, The Netherlands: CRC Press / Balkema: 2013. – pp. 231-235.
10. Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining / Kholodenko T., Ustimenko Ye., Pidkamenna L., Pavlychenko A. // New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. – The Netherlands: CRC Press/Balkema, 2015. – P. 211–219.

REFERENCES

1. Ustimenko, Ye.B., Kholodenko, T.F. and Ustimenko, M.A. (2009), «Evaluation of influence of internal parameters of emulsion explosives, including the processing products of solid rocket fuels on the environment when they are used in explosive operations», *Contemporary resource-saving technologies in mining industry*, no. 2/2009 (4), pp. 62-71.
2. Shyman, L. and Ustimenko, Y. (2009), «Disposal and destruction processes of ammunition, missiless and explosives, which constitute danger when storing», *NATO Security through Science Series C: Environmental Security*, pp. 147-152.
3. Yefremov, E.I. (2010), «Experience of Use of Simple Explosives in Open-Cast Mines of Ukraine», *Ukrainian Union of Mining Engineers, Information Bulletin*, no. 4, pp. 9-11.
4. Kurinnoy, V.P. and Garkusha I.P. (2007), «Influence of the wave processes in the charge cavity on destruction of rock massif», *Geo-Technical Mechanics*, no. 73, pp. 132-135.
5. Kirichenko, A.L., Ustimenko, Ye.B., Shyman, L.N. and Politov, V.V. (2012), «Study of detonation characteristics of blast-hole charges of packaged emulsion explosives», *Scientific Bulletin of National Mining University*, Vol. 6, PP. 37-41.
6. Kirichenko, A.L., Ustimenko, Ye.B., Shyman, L.N., Podkamennaya, L.I. and Politov V.V. (2012), «Method optimization of loading and initiation of blast-hole charges of packaged emulsion «ERA» explosives during the drifting operations in coal-bearing massifs», *Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyy National University*, no. 2(73), part 2, pp. 84-87.
7. Kozlovskaya, T.F. and Chebenko, B.N. (2010), «Ways to reduce the level of environmental danger in regions of the open pit mining», *Bulletin of Kremenchuk Polytechnical University*, no. 6(65), part 1, pp. 163-

168.

8. Kolesnik, V.Ye, Yurchenko, A.A., Litvinenko, A.A. and Pavlichenko, A.V. (2014), *Sposoby i sredstva povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti massovykh vzryvov v zhelezorudnykh karyerakh po pylevomu faktoru* [Ways and means to enhance the environmental safety of massive explosions in quarries for iron dust factor], Litograf, Dnepropetrovsk, Ukraine.

9. Khomenko, O., Kononenko, M. and Myronova, I. (2013), «Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere», *Annual Scientific-Technical Colletion - Mining of Mineral Deposits*, CRC Press / Balkema, Leiden, Netherlands, pp. 231-235.

10. Kholodenko, T., Ustimenko, Ye., Pidkamenna, L. and Pavlychenko, A. (2015), «Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining», *New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, CRC Press/Balkema, Netherlands, pp. 211–219.

Про авторів

Холоденко Татяна Фердинандовна, магістр, начальник управління охорони труда, екологічного надзора і спеціального режиму ГП «НПО «Павлоградський хімічний завод» (ГП «НПО «ПХЗ»), Павлоград, Україна, dirphz@mail.pkhz.dp.ua

About the authors

Kholodenko Tatyana Ferdinandovna, Master of Science, Head of Department of Labour Safety, Ecological Supervision and Special Regime of SE RIC «Pavlograd Chemical Plant» (SE RIC «PCP»), Pavlograd, Ukraine, dirphz@mail.pkhz.dp.ua

Анотація. В результаті проведених досліджень встановлено, що мінливі умови підривання емульсійних вибухових речовин (ЕВР), зокрема розосереджених зарядів, інертним проміжком є причиною зміни складу продуктів детонації і збільшення емісії забруднюючих речовин в атмосферу. При цьому виконана оцінка умов розвитку детонації в модельному заряді ЕВР з інертними проміжками різної конструкції. Показано, що порушення послідовності (або синхронності) ініціювання елементів розосередженого заряду призводить до ущільнення тієї частини заряду, яка вибухає з запізненням. Внаслідок цього в ньому знижується швидкість і тиск детонації, що, в кінцевому підсумку, призводить до збільшення емісії забруднюючих речовин в атмосферу, зокрема оксиду вуглецю. При цьому встановлена залежність концентрації від зниження щільності ЕВР. Мінімізувати емісію можна шляхом оптимізації конструкції інертного проміжку або вдосконаленням системи ініціювання зарядів ЕВР.

Ключові слова: емісія забруднюючих речовин, емульсійні вибухові речовини, розосереджений заряд, склад продуктів детонації.

Abstract. The carried out research has discovered that changing conditions of detonation of emulsion explosives (EE), in particular the charges spaced with an inert interval, cause changes in the composition of detonation products and increase the emission of pollutants into the atmosphere. Moreover, detonation evolution conditions in a model emulsion explosive charge with inert intervals of various designs have been estimated. It is shown that the violation of the sequence (or synchronicity) of initiation of spaced charge elements leads to densification of that part of the charge which detonates with a delay. Consequently, it shows reduced velocity and pressure of detonation, which ultimately leads to an increase in emission of pollutants into the atmosphere, in particular carbon monoxide. At the same time, the dependence of its concentration on the reduced density of the emulsion explosive has been found. Minimized emissions can be achieved by optimizing the design of an inert interval, or improving the system of initiation of emulsion explosive charges.

Keywords: contamination substances content, emulsion explosives, spaced charge, composition of detonation products

Стаття поступила в редакцію 5.07. 2016

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Т.В. Бунько