

УДК 622.235.63:622.236.4

ВЗРЫВЧАТЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ ВОДОНАПОЛНЕННЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ ХИМИЧЕСКОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ

А. Л. Кириченко, Б. С. Ищенко, В. В. Соболев

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина. E-mail: valeriyasobolev@rambler.ru

Установлены зависимости изменения величины минимально необходимого импульса для инициирования эмульсионных взрывчатых веществ, сенсублизированных химической газификацией, от содержания воды в составе эмульсионной матрицы, величины критического диаметра детонации от плотности эмульсионных взрывчатых веществ, скорости распространения детонационной волны и расстояния по передаче детонации от значений плотности и диаметра заряда. Получена аналитическая зависимость, которая позволяет оценить изменение расстояния передачи детонации от плотности и диаметра заряда эмульсионных взрывчатых веществ. Результаты полученных исследований представляют интерес при расчете и оценке параметров различных детонационных цепей, состоящих из отдельных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ.

Ключевые слова: детонация, эмульсионные взрывчатые вещества, шпуровые заряды, химическая газификация.

ВИБУХОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШПУРОВИХ ЗАРЯДІВ ВОДОНАПОВНЕНИХ ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН, СЕНСИБІЛІЗОВАНИХ ХІМІЧНОЮ ГАЗИФІКАЦІЄЮ

О. Л. Кириченко, Б. С. Ищенко, В. В. Соболев

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна. E-mail: valeriyasobolev@rambler.ru

Встановлено залежності зміни величини мінімально необхідного імпульсу для ініціювання емульсійних вибухових речовин, сенсублизованих хімічною газифікацією, від змісту води в складі емульсійної матриці, величини критичного діаметра детонації, від щільності емульсійних вибухових речовин, швидкості поширення детонаційної хвилі і відстані з передачі детонації від значень щільності і діаметра заряду. Отримано аналітичну залежність, яка дозволяє оцінити зміну відстані передачі детонації від щільності і діаметра заряду емульсійних вибухових речовин. Результати отриманих досліджень становлять інтерес при розрахунку та оцінці параметрів різних детонаційних ланцюгів, які складаються з окремих зарядів емульсійних вибухових речовин.

Ключові слова: детонація, емульсійні вибухові речовини, шпурові заряди, хімічна газифікація.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Важнейшими условиями развития устойчивой детонации в зарядах эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) являются параметры инициирующего импульса и физико-химические характеристики ЭВВ, определяющие механизм возбуждения и передачи детонации по всей длине заряда [1–4]. К факторам, воздействующим на режим детонации, также относятся параметры зарядов взрывчатых веществ (ВВ) и внешние условия, например, обводненность [1]. При взрывании зарядов ВВ, состоящих из группы патронов существенное влияние на параметры детонации, может оказывать нарушение сплошности заряда с образованием промежутков из инертной среды между патронами [5, 6]. Немаловажным фактором является место установки инициатора, и время его срабатывания.

При групповом взрывании шпуровых зарядов ВВ также возможны «подбои» в результате воздействия на них внешнего давления газообразных продуктов взрыва или волн напряжений, возникающих при взрывном разрушении горного массива зарядами предыдущих серий замедления. Вопросы влияния внешнего давления на переуплотнение в шпурах зарядов ВВ – аммонита БЖВ или аммонита ПЖВ-20 широко изучались в СССР и за рубежом [7–12].

В Украине (МакНИИ) исследованием данной проблемы занимались Н.Л. Росинский и В.И. Зенин. Однако взрывчатые характеристики шпуровых ЭВВ, сенсублизированных химической газификацией

под воздействием внешнего давления являются малоизученными.

Цель работы – проведение исследований взрывчатых характеристик зарядов патронированных ЭВВ под воздействием факторов, влияющих на параметры их детонации.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для исследования выбраны семь различных патронированных ЭВВ (табл. 1), рецептуры составов которых отличались главным образом количеством содержащейся воды.

Таблица 1 – Выбранные рецептуры модельных составов и их характеристики

Наименование показателей	Рецептуры составов ЭВВ						
	1	2	3	4	5	6	7
Содержание ОФ и (ГФ) эмульсии, %	92,7 (7,3)	93,1 (6,9)	93,1 (6,9)	93,2 (6,8)	93,2 (6,8)	93,2 (6,8)	93,3 (6,7)
Содержание воды в составе ЭВВ, %	4,0	7,4	8,2	9,0	9,4	9,9	11,0
Теплота взрыва, кДж/кг	3,9	3,68	3,62	3,56	3,55	3,52	3,44
Температура взрыва, °С	2892	2693	2651	2619	2597	2571	2524
Объем газа, л/кг	871	894	897	898	900	902	905
Кислородный баланс, %	-0,68	-0,57	-0,73	-0,61	-0,68	-0,78	-0,72

Компонентный состав, размеры патронов и методики проведения испытаний соответствовали [13]. Одним из условий рецептурного состава каждого ЭВВ было установление кислородного баланса в пределах от $-0,5$ до $-0,8$ %. Для проведения термодимических расчетов использовалась программа «АСТРА-4». В исследованиях скорости детонации открытых зарядов ЭВВ использовался прибор «Explometr», капсули-детонаторы СИН «Прима-ЕРА». Регистрация скорости детонации заряда в шпуре осуществлялась с помощью прибора «VODMate». Запись события осуществлялась в виде цифрового файла «время–величина сопротивления». Анализ и обработка данных производились с помощью программного обеспечения «BlastWare».

Исследования чувствительности ЭВВ к инициирующему детонационному импульсу проводились с целью определения минимальной величины инициирующего импульса, необходимого для возбуждения устойчивой детонации в зарядах ЭВВ с различным содержанием воды.

Технология изготовления ЭВВ предусматривает в их составе воду, количество которой определяется условиями проведения безопасного технологического процесса. Вода в составе ЭВВ является технологически необходимым компонентом для получения окислительной фазы (ОФ) и по своим свойствам является флегматизатором. Поэтому с увеличением ее содержания снижается чувствительность ВВ к механическим и электростатическим воздействиям. С одной стороны такой эффект способствует повышению уровня безопасности, а с другой – ведет к затратам энергии на нагрев и испарение воды.

При недостаточной величине инициирующего импульса, реакции взрывчатого превращения ЭВВ с большим содержанием воды, возникающие в результате ударно-волнового воздействия детонатора, могут не достигнуть стационарного режима детонации, вплоть до перехода ее в дефлаграционный режим.

Для определения минимально необходимой энергии импульса, инициирующего в заряде ЭВВ химическую реакцию в форме детонации, изменяли массу ВВ в детонаторе. В исследованиях эта энергия изменялась в пределах от 8 до 195 кДж.

Для получения количественной характеристики меры начального импульса, необходимого для возбуждения реакции взрывчатого превращения, были проведены испытания образцов ЭВВ в картонной оболочке длиной не менее 180 мм, диаметром 80 мм, с различным содержанием воды.

По данным исследований построена зависимость изменения энергии минимально необходимого импульса для инициирования ЭВВ от содержания воды в его составе (рис. 1).

Из приведенных на рис. 1 данных видно, что образцы ЭВВ с содержанием воды до 4,0 % имеют относительно низкую чувствительность и восприимчивы к инициирующему импульсу с $E_I = 9,21$ кДж. С увеличением содержания воды от $> 4,0$ до 8,2 % чувствительность ЭВВ снижается, при этом испытываемые образцы еще восприимчивы к инициирующему импульсу с $E_I = 9,96$ кДж.

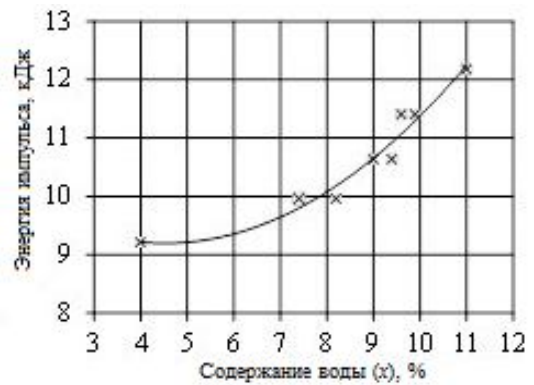


Рисунок 1 – Зависимость изменения энергии начального инициирующего импульса от содержания воды в составе ЭВВ

Для образцов ЭВВ с содержанием воды в диапазоне $> 8,2$ до $9,0$ % и $> 9,0$ до $9,6$ % величина E_I возрастает в два и четыре раза соответственно: 10,71 и 11,41 кДж. При увеличении содержания воды до $> 9,6 \dots 11$ % энергия необходимая для возбуждения детонации в заряде ЭВВ достигает 12,8 кДж.

Характер полученной зависимости объясняется тем, что часть энергии, переданной заряду ЭВВ, расходуется на испарение воды. Для выполнения условия Чепмена–Жуге при наличии энергетических потерь в зоне химической реакции необходимо, чтобы скорость потерь не превышала скорость тепловыделения [14]. Видно, что с увеличением содержания воды с 4 до 11 % в составе ЭВВ, потери энергии значительно возрастают.

При достаточно большом снижении скорости реакции баланс между энерговыделением и отводом энергии становится невозможным, исключая, таким образом, стационарный режим распространения детонации. Увеличение энергии, переданной начальным импульсом, способствует увеличению количества частиц одновременно вступающих в реакцию взрывчатого превращения, что приводит к большему выделению тепла и как следствие возрастанию давления. Поэтому для компенсации таких энергозатрат и обеспечения постоянства параметров детонационной волны, при увеличении содержания воды с 4 до $\geq 8,2$ % возникает необходимость в увеличении энергии активации.

Зависимость величины энергии начального инициирующего импульса от содержания воды в составе ЭВВ представлена уравнением

$$E_I = 0,0706x^2 - 0,6239x + 10,58. \quad (1)$$

Однако, учитывая тот факт, что испытания проводились в ограниченном диапазоне плотностей и содержания воды, применение уравнения (1) будет корректно для ЭВВ, содержащих воду до 11 % при плотности от 1080 до 1160 кг/см³.

На примере исследования чувствительности ЭВВ к инициирующему детонационному импульсу получена количественная оценка энергии импульса необходимой для возбуждения устойчивой детонации в зарядах водосодержащих взрывчатых смесей – ЭВВ.

Установлено, що для ініціювання зарядів ЭВВ с содержанием воды до 8,2 % возможно использование стандартных КД № 8 ЭД или СИН с энергией импульса $E_I = 9,21 \pm 9,96$ (0,6±0,8 г РЕТН). Для зарядов ЭВВ с содержанием воды более 8,2 %, потребуется применение дополнительного промежуточного детонатора в виде патрона-боевика, содержащего ВВ подкласса 1.1.

Исходя из того, что в условиях проходческих забоев шахт, не опасных по газу и пыли, как правило, используются стандартные ЭД или СИН с навеской 0,6...0,8 г РЕТН для исследования физико-технических особенностей применения патронированных ЭВВ в шпуровых зарядах была выбрана рецептура ЭВВ с содержанием воды 6,8±0,2 (аналог рецептуры ЭВВ марки «ЕРА»-РЗ по ТУ У 24.6-14310112-22:2007). В рецептуре этого ЭВВ содержание компонентов установлено следующее: эмульсия 82,0±1,0 %, гранулированная аммиачная селитра 16,0±0,5 %, алюминиевый порошок 2,0±0,05 %.

Испытания по определению чувствительности ЭВВ к удару, трению и воздействию электростатического разряда проводились с целью определения предельного порога чувствительности, который является отправной точкой для определения уровня безопасности при хранении, транспортировании и применении патронированных ЭВВ.

Испытаниям подвергались образцы ЭВВ с содержанием воды от 4,0 до 8,2 % и плотностью состава 1000-1210 кг/см³.

Результаты физико-механических испытаний образцов ЭВВ были обобщены и представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты физико-механических испытаний ЭВВ

Наименование показателей	ЭВВ	Тротил
Чувствительность к удару (на копре БАМ, по МТ-2-2005), Дж	>50	>28
Чувствительность к трению (на фрикционном приборе БАМ, согласно МТ-3-2000), Н	>360	>210
Чувствительность к электростатическому разряду (согласно МТ-5-2003), Дж	более 0,1	менее 0,05

Для получения сравнительной оценки приведены справочные значения порога чувствительности тротила к механическим и электростатическим воздействиям.

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что испытываемые образцы ЭВВ обладают более низкой чувствительностью к механическим и электростатическим воздействиям по сравнению с тротилом. Так, предельный порог чувствительности ЭВВ к удару в 1,78, к трению в 1,71, а к электростатическому разряду в 2 раза ниже, чем для тротила.

Для случаев неоднородного течения реакции за фронтом ударной волны параметры детонации в определенных границах становятся зависимыми от размеров поперечного сечения заряда ВВ. С уменьшением диаметра заряда ВВ увеличивается относи-

тельное количество реагирующего ВВ, разлет которого из зоны химической реакции в радиальном направлении приводит к возрастанию потерь энергии. Для зарядов ВВ, диаметр которых больше предельного диаметра ($d_{пр}$) указанная потеря энергии не существенна, и детонационная волна распространяется со скоростью близкой к идеальной детонации. По мере уменьшения диаметра заряда ВВ для случаев, когда $d_{зар} \leq d_{пр}$ снижение скорости детонации становится более заметным [8].

Для определения предельного диаметра патронированных ЭВВ, при котором в заряде обеспечиваются условия для развития детонации, параметры которой будут достигать оптимальных значений, в работе проводились измерения скорости детонации в зарядах различного диаметра [15]. В соответствии с методикой [16]. Испытаниям подвергались образцы ЭВВ (с содержанием воды 6,8±0,2 %) диаметром 32, 40, 60, 70 и 90 мм с плотностью 1120-1180 кг/м³.

Результаты испытаний по определению предельного диаметра детонации, приведены на рис. 2. Показана зависимость скорости детонации аммонита 6ЖВ от диаметра заряда, которая получена по результатам экспериментальных исследований [17]. Параметры скорости детонации аммонита 6ЖВ измерялись для ВВ с плотностью 1050 кг/м³ в открытом заряде.

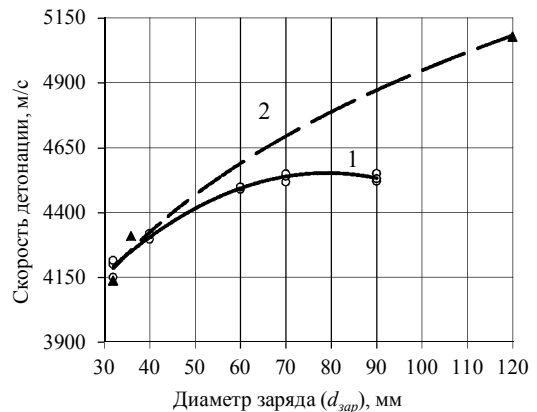


Рисунок 2 – Зависимость изменения скорости детонации ЭВВ от диаметра заряда: 1 – скорость детонации ЭВВ «ЕРА»-РЗ, 2 – скорость детонации патронированного аммонита 6ЖВ

Как видно из приведенных на рис. 2. данных, кривая скорости детонации имеет точку перегиба (соответствующую диаметру заряда 60 мм), в которой достигается предельная скорость детонации ЭВВ порядка 4524 м/с. Ниже этой точки скорость детонации ЭВВ убывает. При уменьшении диаметра заряда с 60 до 32 мм скорость детонации составляет 92,6 % от предельной скорости детонации. В данном случае снижение скорости детонации в зарядах ЭВВ диаметром до 60 мм обусловлено наличием потерь энергии в зоне химической реакции [15].

Сравнение результатов исследований на рис. 2 показывает, что зависимость $D_{ВВ} = f(d_{зар})$ для зарядов ЭВВ и аммонита несколько отличаются. В отличие от ЭВВ для аммонита 6ЖВ кривая скорости детона-

ци монотонно возрастает с увеличением диаметра заряда.

При этом на кривой 2 рис. 2 отсутствует четко выраженная точка перегиба, по которой можно судить о величине предельного диаметра детонации. Поэтому можно сделать вывод, что предельная скорость детонации в открытом заряде аммонита 6ЖВ диаметром до 120 мм при плотности 1050 кг/м³ не достижима. Отличие зависимости $D_{ВВ}=f(d_{зар})$ для ЭВВ «ЕРА»–РЗ и аммонита 6ЖВ очевидно обусловлено физико-химическими свойствами составов и структурой этих ВВ.

Результаты испытаний по определению предельного диаметра детонации ЭВВ могут быть представлены в виде следующего уравнения:

$$D_{ЭВВ}(d_{зар}) = -0,162 \cdot d_{зар}^2 + 25,694 \cdot d_{зар} + 3536,6 \quad (2)$$

Другим не менее важным показателем взрывчатых характеристик, определяющих границу между стационарным и нестационарным режимом распространения детонации в заряде, является критический диаметр детонации. Известно, что при нестационарном режиме детонации общее время и полнота завершенности химических реакций, протекающих за фронтом детонационной волны будут зависеть от скорости разложения и сгорания частиц ВВ. Продолжительность такого процесса определяется размером частиц ВВ, равномерностью их смешения и наличием фазы вторичных реакций.

Для определения критического диаметра детонации ЭВВ «ЕРА»–РЗ использовали заряды телескопической формы. Испытания проводились для образцов ЭВВ с плотностью от 1000 до 1300 кг/м³. Всего было проведено девять параллельных испытаний по четыре образца ЭВВ в каждом. Экспериментально установлена величина критического диаметра детонации в зависимости от плотности заряда (рис. 3).

Как видно из представленных на рис. 3 данных, величина минимального критического диаметра, при котором еще возможно развитие устойчивого процесса детонации составляет ~23 мм. С увеличением плотности ЭВВ от 1000 до 1270 кг/м³ критический диаметр детонации заряда увеличивается на 12 %. При инициировании КД с навеской 0,72 г РЕТН в заряде ЭВВ плотностью выше 1270 кг/м³ детонация прерывается. Возможно, это связано с уменьшением концентрации горячих точек в единице объема.

Полученные результаты хорошо аппроксимируются уравнением вида:

$$d_{кр} = 4,88 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{эвв}^2 - 0,1007 \cdot \rho_{эвв} + 74,62, \quad (3)$$

где $d_{кр}$ – критический диаметр ЭВВ, мм; $\rho_{эвв}$ – плотность ЭВВ, кг/м³.

Таким образом, установлено, что для ЭВВ «ЕРА»–РЗ плотностью от 1000 до 1270 кг/м³ значение критического диаметра детонации будет удовлетворять условию $d_{крВВ} < d_{зар}$ при взрывании в шпурах стандартного диаметра ≥ 36 мм, что обеспечивает необходимые условия для поддержания стационарного и устойчивого режима детонации.

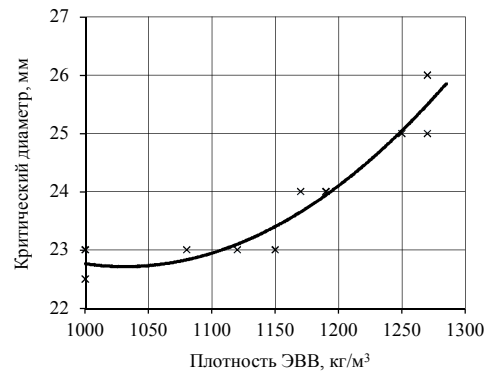


Рисунок 3 – Результаты испытаний по определению критического диаметра детонации образцов ЭВВ

Анализ современных исследований показал, что детонация ЭВВ во многом определяется его плотностью, которая может изменяться в широком диапазоне [18]. Патронированное эмульсионное ВВ «ЕРА»–РЗ относится к взрывчатым веществам, восприимчивость к инициирующему импульсу которых обеспечивается химическим газонасыщением.

При адиабатическом сжатии под воздействием ударной волны каждый отдельный пузырек газа является точечным источником (горячей точкой), инициирующим воспламенение окружающего ВВ. Прогрессивный рост температуры и давления вокруг очага обеспечивает передачу импульса для сжатия следующего слоя ВВ, формируя, таким образом, самораспространяющейся по заряду фронт детонационной волны.

Для определения «эффективного» диапазона плотности ЭВВ, при котором режим детонации будет достигать оптимальных значений, проведены измерения скорости детонации. Исследования выполнялись в соответствии с методикой [16]. При определении зависимости скорости распространения детонационной волны от плотности ЭВВ на открытых зарядах ЭВВ в полимерной оболочке (диаметр патронов 32 мм; плотность ЭВВ составляла от 1000 до 1300 кг/м³). Полученные при проведении испытаний значения скорости детонации ЭВВ представлены на рис. 4.

Зависимость, приведенная на рис. 4, показывает, что максимум скорости детонации образцов ЭВВ достигается в узком диапазоне плотностей от 1120...1180 кг/м³. При плотности ЭВВ менее 1120 кг/м³ или увеличении ее значений, превышающих 1180 кг/м³, скорость детонации снижается.

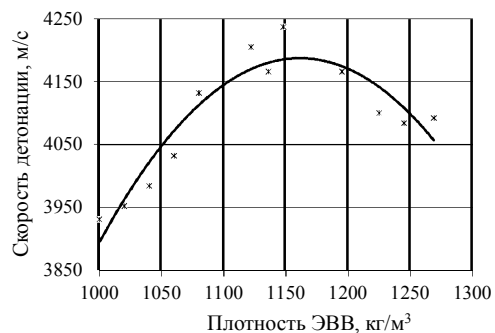


Рисунок 4 – Зависимость скорости детонации от плотности ЭВВ

При плотности более 1270 кг/м^3 испытываемые заряды ЭВВ теряют способность устойчиво воспринимать инициирующий импульс и детонировать от КД с навеской $0,72 \text{ г РЕТН}$, что затрудняет дальнейшее определение их скорости детонации. В данном случае снижение $D_{ЭВВ}$ при увеличении плотности очевидно связано с тем, что в массе ЭВВ становится недостаточно «горячих» точек для развития устойчивой детонации. При более низких плотностях ЭВВ (ниже 1120 кг/м^3) снижение $D_{ЭВВ}$ очевидно, обусловлено дополнительным расходом энергии ЭВВ на компенсацию потерь при нагреве более крупных «инертных» газовых включений.

Экспериментальные данные по скорости распространения детонационной волны в открытом заряде ЭВВ диаметром 32 мм при различных плотностях, приведенные на рис. 4, могут быть описаны уравнением вида:

$$D_{ЭВВ} = -11,26 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{ЭВВ}^2 + 26,155 \cdot \rho_{ЭВВ} - 10998 \quad (4)$$

Уравнение (4) не учитывает влияние размера отдельных очагов возникновения реакции на параметры детонации, однако позволяет качественно охарактеризовать зависимость изменения скорости детонации от плотности ЭВВ в заряде постоянного диаметра.

ВЫВОДЫ. Принципиальным отличием патронированных ЭВВ на основе твердых углеводородов химической газификацией от сухих порошкообразных ВВ, между частицами которых находится газ (воздух), является способность возвращаться в исходное состояние после воздействия внешнего давления, т.е. способность газовых пузырьков после кратковременного сжатия восстанавливаться до первоначальных размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка влияния условий применения смесевых ВВ на их взрывчатые характеристики при проведении взрывных работ / Л.Н. Шиман, Е.Б. Устименко, А.Л. Кириченко, Л.И. Подкаменная // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 60–65.
2. Некоторые технологические подходы для повышения эффективности применения шпуровых зарядов ВВ при подземной добыче полезных ископаемых / Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, А.Л. Кириченко, Л.И. Подкаменная // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДПУ імені Михайла Остроградського. – Вип. 2/2010(6). – 2010. – С. 61–67.
3. Применение патронированных эмульсионных взрывчатых веществ марки «ЕРА» на горнодобывающих предприятиях металлургического комплекса

/ А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, Л.И. Подкаменная, О.В. Колтунов // Вестник УСИВ: информационный бюллетень. – 2011. – № 2. – С. 3–7.

4. Развитие детонационных процессов скважинных зарядов малочувствительных промышленных взрывчатых веществ при инициировании от патронов боевиков / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, О.В. Колтунов // Науковий вісник НГУ. – 2011 – Вип. 4. – С. 59–63.

5. Исследование процесса раздвижки патронов в шпурах при взрывных работах в вертикальных шахтных стволах / Н.Р. Шевцов, И.В. Купенко, К.Н. Лабинский и др. // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – Вип. 45. – С. 118–123.

6. Исследование полноты и устойчивости детонации зарядов с инертными промежутками между патронами ВВ / Н.Р. Шевцов, С.А. Калякин, О.И. Рублева // Разработка рудных месторождений. Вып. 1 (90). – Кривой Рог: КТУ, 2006. – С. 75–79.

7. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах / Пер с англ., под ред. Г.П. Демидюка и Н.С. Бахаревича. – М.: Недра, 1980. – 453 с.

8. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 358 с.

9. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л. Барон, В.Х. Кантор. – М.: Недра, 1980. – 376 с.

10. Кутузов Б.Н., Галаджий Ф.М., Давыдов С.А. и др. Безопасность взрывных работ в промышленности. – М.: Недра, 1977. – 343 с.

11. Кутузов Б.Н., Бутуков А.Ю., Вайнштейн Б.И. и др. Взрывные работы в опасных условиях угольных шахт. – М.: Недра, 1979. – 373 с.

12. Петров Н.Г., Росинский Н.Л. Короткозамедленное взрывание в шахтах. – М.: Недра, 1985. – 270 с.

13. ТУ У 24.6–14310112–22:2007 Технические условия «Вещества взрывчатые эмульсионные патронированные марки «ЕРА»–РЗ.

14. Зельдович Я.Б., Компанец А.С. Теория детонации. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 268 с.

15. Исследование детонационных характеристик шпуровых зарядов патронированных ЭВВ / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, В.В. Политов // Науковий вісник НГУ. – 2012. – Вип. 6 (132). – С. 37–41.

16. Определение скорости детонации: Методика МТ–13–98. – Павлоград, ГП НПО «ПХЗ», 1998. – 24 с.

17. Исследование неидеальных режимов детонации промышленных ВВ / С.А. Калякин, К.Н. Лабинский // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 6/2009 (59), част. 1 – С. 159–163.

18. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 784 с.

EXPLOSIVE CHARACTERISTICS OF BLAST-HOLE CHARGES CONSISTING OF WATER-FILLED EMULSION EXPLOSIVES SENSITIZED BY CHEMICAL GASIFICATION

A. Kirichenko, B. Ishenko, V. Sobolev

State Higher Education Institution «National Mining University»

prosp. Karl Marx, 19, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine. E-mail: valeriy Sobolev@rambler.ru

In view of the results of experimental research the following dependencies were determined: the change of value of the minimum required impulse for emulsion explosives initiation, sensitized by chemical gasification, on water content in emulsion matrix, value of detonation critical diameter on explosive density, detonation wave propagation velocity and distance of detonation transmission on values of density and charge diameter. Based on the results of research the analytical dependence is determined, it allows to estimate the change in the distance of detonation transmission depending on the density and diameter of emulsion explosive charge. From the practical point of view, the obtained research results are of interest when determining and estimating parameters of different detonation chains consisting of separate charges of emulsion explosives.

Key words: detonation, emulsion explosives, blast-hole charge, chemical gasification

REFERENCES

1. Shyman, L.N., Ustyomenko, E.B., Kirichenko, A.L., Podkamennaia, L.I. (2010), "Assessing the impact of conditions of use aluminized explosives on their explosive characteristics during blasting", *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry, Research and practice journal*, , iss. 1 (5), pp. 60–65.
2. Ustyomenko, E.B., Shyman, L.N., Kirichenko, A.L., Podkamennaia, L.I. (2010), "Several technological approaches to improve the application blast-hole explosive charges in underground mining", *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry, Research and practice journal*, iss. 2 (6), pp. 61–67.
3. Kirichenko, A.L., Ustyomenko, E.B., Shyman, L.N., Podkamennaia, L.I., Koltunov, O.V. (2011), "The use of packaged emulsion explosives brand "EPA" at mines and metallurgical complex", *Newsletter "Vestnyk USYV"*, iss. 2, pp. 3–7.
4. Kirichenko, A.L., Ustyomenko, E.B., Shyman, L.N., Koltunov, O.V. (2011), "Development of detonation processes of blast-hole charges insensitive industrial explosive rounds at the initiation of the militants", *Scientific Bulletin of NMU*, iss. 4, pp. 59–63.
5. Shevtsov, N.R., Kuppenko, Y.V., Labynskiy, K.N. et al (2002), "Research of process of extendable of cartridges in shots during the explosive works in vertical mine trunks", *Scientific papers of Donetsk National Technical University: a series of mining and geological*, iss. 45, pp. 118–123.
6. Shevtsov, N.R., Kaliakyn, S.A., Rubleva, O.Y. (2006), "Research completeness and stability of detonation charges inert spaces between rounds of explosives", *The development of ore deposits*, vol. 1, no.90, pp. 75–79.
7. Kuk, M.A. (1980), *Nauka o promyshlennykh vzruchatukh veschestvakh* [The science of industrial explosives], Nedra, Moscow, USSR.
8. Dubnov, L.V., Bakharevych, N.S., Romanov, A.Y. (1988), *Promyshlennyye vzryvchatyie veschestva* [Industrial Explosives], Nedra, Moscow, USSR.
9. Baron, V.L. (1980), *Tehnika i tehnologiya vzryivnyih rabot v SShA* [Technique and technology of blasting operations in the US], Nedra, Moscow, USSR.
10. Kutuzov, B.N., Haladzhyy, F.M., Davidov, S.A. et al. (1977), *Bezopasnost vzryivnyih rabot v promyshlennosti* [Safety of explosive works in the industry], Nedra, Moscow, USSR.
11. Kutuzov, B.N., Butukov, A.Y., Vainshtein, B.Y. et al. (1979), *Vzryivnyie raboty v opasnyih usloviyah ugolnyih shaht* [Explosive works in dangerous conditions of coal mines] Nedra, Moscow, USSR.
12. Petrov, N.H., Rosynskiy, N.L. (1985), *Korotkozamedlennoe vzryivanie v shahtah* [Short-delay blasting in mines], Nedra, Moscow, USSR.
13. Technical conditions (2007), "Explosive emulsion patronize the brand "EPA"–P3 TU U 24.6–14310112–22:2007.
14. Zeldovych, Y.B., Kompanets, A.S. (1955), *Teoriya detonatsii* [The theory of detonation], GITTL, Moscow, USSR.
15. Kirichenko, A.L., Ustyomenko, E.B., Shyman, L.N., Polytov, V.V. (2012), "Research of detonation characteristics blast-hole charge of packaged emulsion explosives", *Scientific Bulletin of NMU*, vol. 6, no. 132, pp. 37–41.
16. Determination of detonation velocity, (1998), Methods MT-13-98. Pavlograd, GP NPO "PHZ", 24 p.
17. Kaliakyn, S.A., Labynskiy, K.N. (2009), "Research imperfect modes detonation of industrial explosives", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, vol. 6 (59), part 1, pp. 159–163.
18. Danylenko, V.V. (2010), *Vzryv: fizika, tehnika, tehnologiya* [Explosion: physics, engineering, technology], Enerhoatomyzdat, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 18.05.2015.