

**ОСОБЕННОСТИ ИНИЦИИРОВАНИЯ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ
ИНЕРТНЫМ ПРОМЕЖУТКОМ ЗАРЯДОВ
ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

А. Л. Кириченко, Д. В. Вашневский, Е. Б. Устименко, Т. Ф. Холоденко

Государственное предприятие «Научно-производственное объединение
«Павлоградский химический завод»

ул. Заводская, 44, г. Павлоград, 51402, Украина. E-mail: tdirphz@pkhz.dp.ua

По результатам проведенных исследований получена сравнительная оценка условий для развития детонации в модельном заряде эмульсионных взрывчатых веществ с использованием инертных промежутков различной конструкции. Установлена зависимость изменения плотности и степени деформации заряда эмульсионных взрывчатых веществ с химической газификацией под воздействием волны сжатия различной интенсивности от тиксотропных свойств эмульсии. Также выполнена теоретическая оценка состава продуктов детонации с учетом изменения термодинамических условий в процессе взрывчатого превращения в рассредоточенном заряде эмульсионных взрывчатых веществ при одновременном инициировании элементов заряда. По результатам выполненной оценки установлено, что нарушение последовательности инициирования зарядов взрывчатым веществом может являться одной из причин изменения качественно количественного состава продуктов детонации. Также установлено, что при неоптимальных условиях взрывания зарядов эмульсионных взрывчатых веществ рассредоточенных инертным промежутком гибкость его рецептуры в пределах норм, установленных требованиями технологического регламента, позволяет минимизировать образование вредных продуктов детонации.

Ключевые слова: эмульсионные взрывчатые вещества, рассредоточенный заряд, условия инициирования, детонация и состав продуктов детонации.

**ОСОБЛИВОСТІ ІНІЦЮВАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ
ІНЕРТНИМ ПРОМІЖКОМ ЗАРЯДІВ
ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН**

А. Л. Кириченко, Д. В. Вашневський, Е. Б. Устименко, Т. Ф. Холоденко

Державне підприємство «Науково-виробниче об'єднання
«Павлоградський хімічний завод»

вул. Заводська, 44, м. Павлоград, 51402, Україна. E-mail: tdirphz@pkhz.dp.ua

За результатами проведених досліджень отримана порівняльна оцінка умов для розвитку детонації в модельному заряді емульсійних вибухових речовин з використанням інертних проміжків різної конструкції. Встановлено залежність зміни щільності і ступеня деформації заряду емульсійних вибухових речовин з хімічною газифікацією під впливом хвилі стиснення різної інтенсивності від тиксотропних властивостей емульсії. Також виконано теоретичну оцінку складу продуктів детонації з урахуванням зміни термодинамічних умов в процесі вибу-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

хового перетворення в розосередженому заряді емульсійних вибухових речовин при неодночасному ініціюванні елементів заряду. За результатами виконаної оцінки встановлено, що порушення послідовності ініціювання зарядів вибуховою речовиною може бути однією з причин зміни якісно кількісного складу продуктів детонації. Також встановлено, що при неоптимальних умовах підтримання зарядів емульсійних вибухових речовин розосереджених інертним проміжком гнучкість його рецептури в межах норм, встановлених вимогами технологічного регламенту, дозволяє мінімізувати утворення шкідливих продуктів детонації.

Ключові слова: емульсійні вибухові речовини, розосереджений заряд, умови ініціювання, детонація і склад продуктів детонації.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Большинство современных эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) обладают относительно высокими энергетическими параметрами и давлением детонации, что в совокупности обеспечивает высокий уровень их работоспособности. Для рационального использования потенциальной энергии взрыва ЭВВ при разрушении горных пород удлиненными зарядами, нередко применяют метод рассредоточения заряда элементами инертных промежутков, состоящих из воздуха или чаще породной мелочи.

Накопленный опыт показывает, что использование инертных промежутков в заряде позволяет снизить удельные энергозатраты, обеспечивая при этом необходимое качество дробления пород [1]. Это объясняется тем, что в отличие от зарядов сплошной конструкции при взрыве рассредоточенного заряда взрывчатого вещества (ВВ) на стенки по всей ее длине воздействует взрывной импульс различной интенсивности и продолжительности, что в свою очередь приводит к образованию неоднородного поля напряжений, способствующего интенсификации дробления горных пород [2].

Продолжительность действия такого взрывного импульса определяется механизмом взаимодействия отдельных частей заряда при взрыве. Так, например, при одновременном инициировании элементов заряда ВВ, рассредоточенных воздушным промежутком, соударение движущихся на встречу друг другу газодинамических потоков, происходит в центральной части промежутка. При неодновременном инициировании элементов заряда, точка соударения волн напряжения будет смещаться в сторону заряда с большим интервалом замедления, что неизбежно приведет к изменению параметров поля напряжения. Таким образом, изменяя расстояние и интервалы инициирования между отдельными частями заряда ВВ в скважине представляется возможным управлять процессом разрушения горных пород.

В настоящий момент для управления действием взрыва разработаны различные конструкции зарядов, эффективность которых подтверждается большим числом экспериментальных исследований [3]. Также применяются современные системы инициирования (СИ), которые позволяют создавать схемы взрывания различной сложности с практически неограниченными возможностями по вре-

менным замедлениям, в том числе и для инициирования отдельных частей рассредоточенного заряда [4].

Однако в случае ошибки расчета или погрешности срабатывания внутри-скважинных интервалов замедлений в рассредоточенном заряде существует вероятность «подбоя», когда на элемент заряда ВВ воздействует волна сжатия [5]. В заряде с воздушным промежутком интенсивность такой волны в основном определяется параметрами начального давления в ударной волне и длиной промежутка. При наличии в промежутке материала из «породной мелочи» энергия волны сжатия частично поглощается за счет возникновения сил внутреннего трения между твердыми частицами и бокового распора при сжатии элемента промежутка.

Цель работы - оценка воздействия газодинамического потока продуктов детонации на заряд ЭВВ через элемент инертного промежутка, на физико-химические характеристики и термодинамические условия взрывчатого превращения ЭВВ.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Оценку влияния ударных нагрузок на элементы рассредоточенного заряда выполняли на модельных шпурах диаметром 42 мм. В нижней части такого шпура размещали заряд «свидетель» газифицированной эмульсии с плотностью $1,0 \text{ г/см}^3$, после чего формировали инертный промежуток. В качестве материала инертного промежутка использовали, как воздушную среду, так и супесчанистый грунт, чередование которых позволяло изменять интенсивность газодинамического потока в модельном шпуре. Общая схема проведения эксперимента представлена на рис. 1.

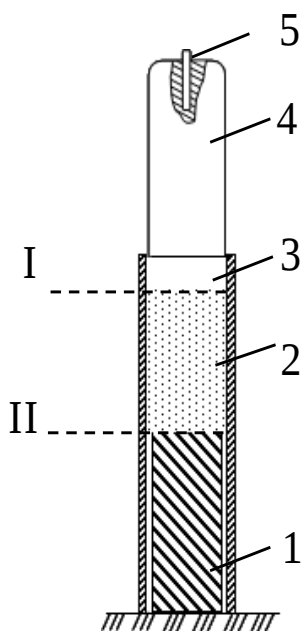


Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента: 1 – заряд «свидетель»;
2 – породный промежуток; 3 – воздушный промежуток; 4 – заряд ВВ;
5 – КД №8

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Для возбуждения ударной волны в инертном промежутке и волны сжатия в заряде «свидетеле» использовали заряд ЭВВ диаметром 40 мм, который размещали в верхней части модельного шпура. Давление детонации заряда ЭВВ в точке Чемпена-Жуге определяли по формуле [1]

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

где $\rho_{ВВ}$ – плотность ВВ; $S_{ВВ}$ – скорость детонации; k – показатель адиабаты продуктов детонации ВВ. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов давления детонации

Параметры элементов модельного заряда	Номер модельной скважины					
	1	2	3	4	5	6
Длина заряда ВВ, мм	200	200	200	200	200	200
Длина элементов промежутка, мм:						
- породный промежуток	210,0	420,0	630,0	380,0	290,0	210,0
- воздушный промежуток	0,0	0,0	0,0	40,0	130,0	210,0
Длина заряда «свидетеля», мм	200	200	200	200	200	200

Для оценки давления на границе I ВВ - инертный промежуток использовали уравнение, состояния конденсированной среды, основанное на ее ударной адиабате в виде линейного уравнения (2).

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

где c_0 – скорость звука в материале промежутка; λ – постоянная для данной среды; u – массовая скорость частиц за фронтом ударной волны.

Расчет основных параметров ударной адиабаты для многокомпонентной пористой среды инертного промежутка выполняли с использованием методики [6, 7]. Основные уравнения (3), (4), (5) данной методики представлены ниже.

Для оценки давления на границе II «инертный промежуток - заряд «свидетель» использовали уравнение (6). Результаты расчетов давления детонации, и давлений на границах раздела I и II в модельном шпуре приведены в табл. 2.

$$c_0 = \frac{c_{o2} \cdot \left[\alpha_1 \cdot \left(\frac{\rho_{o2}}{\rho_{o1}} - 1 \right) + 1 \right]}{\sqrt{\alpha_1 \cdot \left(\rho_{o2}^2 \cdot \frac{c_{o2}^2}{c_{o1}^2} - 1 \right) + 1}} \quad (3)$$

$$\lambda = \left[1 - \frac{\alpha_{\epsilon} \cdot \frac{\rho_{o2}}{\rho_{\epsilon}} + (1 - \alpha_{\epsilon}) \cdot \left[\alpha_1 \cdot \frac{\rho_{o2}}{\rho_{o1}} \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda_2}\right) + 1 \right]}{\alpha_{\epsilon} \cdot \frac{\rho_{o2}}{\rho_{o1}} + (1 + \alpha_{\epsilon}) \cdot \left[\alpha_1 \cdot \left(\frac{\rho_{o2}}{\rho_{o1}} - 1\right) + 1 \right]} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$u = \sqrt{P \cdot \left[\frac{\alpha_1 \cdot \left(1 - \frac{\rho_{o1}}{\rho_1}\right)}{\rho_{o1}} + \frac{\alpha_2 \cdot \left(1 - \frac{\rho_{o2}}{\rho_2}\right)}{\rho_{o2}} + \frac{(1 - \alpha_1 - \alpha_2) \cdot \left(1 - \frac{\rho_{o\epsilon}}{\rho_{\epsilon}}\right)}{\rho_{o\epsilon}} \right]} \quad (5)$$

$$P_{II} = P_I e^{\frac{1}{\mu \cdot \epsilon \cdot \left(\frac{l}{\omega}\right) \cdot h}} \quad (6)$$

где α_1 и α_2 – массовая доля первой и второй компонент; ρ_{o1} , c_{o1} , ρ_{o2} , c_{o2} – начальные параметры среды первой и второй компонент; ρ_1 , ρ_2 – параметры среды первой и второй компонент в сжатом состоянии; μ – коэффициент Пуассона; ϵ – коэффициент бокового распора; l и ω – периметр поперечного и площадь поперечного сечения заряда; h – высота инертного промежутка

Таблица 2 – Результаты расчетов давления детонации,
и давлений на границах раздела I и II в модельном шпуре

Наименование показателей	Номер 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	$5,35 \cdot 10^7$	$2,39 \cdot 10^7$	$1,11 \cdot 10^7$	$2,34 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^7$	$1,85 \cdot 10^7$

Следует отметить, что параметры давления P_{II} носят оценочный характер и для случая натуральных скважин, особенно при наличии в них забойки, значение P_{II} может быть больше чем данные приведенные в табл. 2. Однако полученные значения P_{II} являются справедливыми для описания процессов происходящих в модельном шпуре рассредоточенном инертным промежутком.

Испытания выполняли для зарядов «свидетелей» с вязкостью эмульсии $35 \cdot 10^3$ сП, $65 \cdot 10^3$ сП и $100 \cdot 10^3$ сП. Эмульсия изготавливалась с использованием диспергирующего оборудования смесительно-зарядной машины SMS согласно требований технологического регламента [8]. Для получения эмульсии с различными тиксотропными свойствами по вязкости использовали смесь эмульгаторов SMO и

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

PIBSA. После испытания из модельного шнура извлекали заряд «свидетель» и измеряли его плотность. По результатам выполненных измерений установлено, что плотность ЭВВ имеет не однородное распределение по длине заряда. Так, относительное изменение плотности на участке 1/3 заряда со стороны воздействия волны сжатия составило до 25 %, в то время как для участка 2/3 аналогичный показатель оставался на уровне 10...12 %, что вполне объясняется снижением давления в волне по мере уплотнения материала промежутка. По данным эксперимента была получена зависимость изменения плотности ЭВВ на участке 1/3 заряда «свидетеля» от давления волны сжатия, которая представлена на рис. 2.

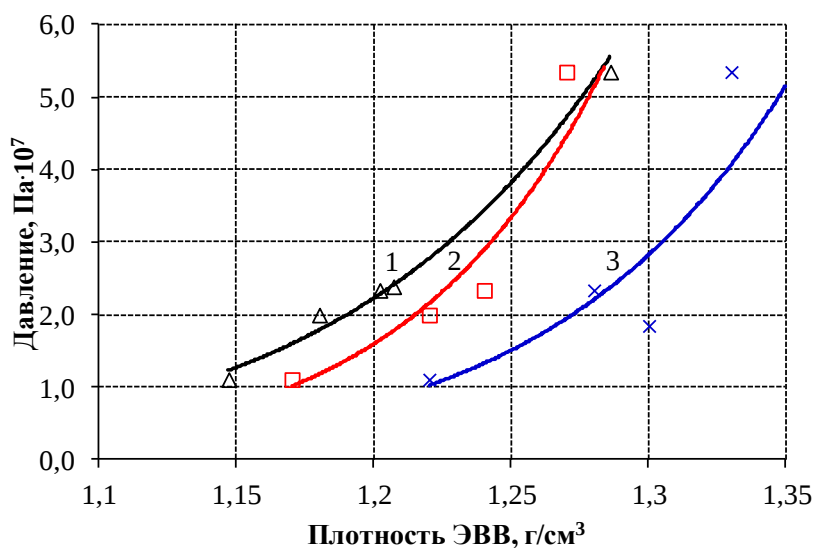


Рисунок 2 – Залежність зміни щільності ЕВВ від тиску в хвильовому напруженні: 1 – для заряду з в'язкістю емульсії $33 \cdot 10^3$ сП; 2 – для заряду з в'язкістю емульсії $65 \cdot 10^3$ сП; 3 – для заряду з в'язкістю емульсії $100 \cdot 10^3$ сП

Аналіз даних на рис. 2 показує, що під впливом хвилі сжатия з тиском $\sim 10...54$ МПа щільність в зразках ЕВВ збільшується в 1,14...1,33 рази. При цьому після зняття навантаження «кінцева» щільність ЕВВ в зразках з в'язкістю емульсії $100 \cdot 10^3$ сПа на 3,8...8,3 % вище, ніж для ЕВВ з меншою в'язкістю емульсії. Очевидно, така закономірність пояснюється тим, що з збільшенням в'язкості емульсії змінюються її еластичні властивості, внаслідок чого при сжатии в гетерогенній структурі, насиченій бульбашками повітря, зростає залишкова деформація. В зарядах з меншою в'язкістю емульсії після зняття навантаження об'єм бульбашок повітря повертається в початковий стан, при цьому залишкова деформація може бути обумовлена міграцією бульбашок за межі заряду.

Відомо, що для більшості ЕВВ з хімічною газифікацією ефективний діапазон щільності, при якому досягаються задані вибухові характеристики, становить $1,05...1,27$ г/см³. При щільності ЕВВ близькій до «критичної» більше $1,27$ г/см³ в заряді стає недостатньо «гарячих точок» внаслід-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

ствие чего происходит снижение скорости детонации вплоть до перехода в дефлаграционный режим. По данным экспериментальных исследований [9] зависимость изменения скорости детонации ЭВВ с химической газификацией от его плотности ($\rho_{ЭВВ}$) описывается аппроксимирующим уравнением

$$D_{ЭВВ} = -11,26 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{ЭВВ}^2 + 26,155 \cdot \rho_{ЭВВ} - 10998. \quad (7)$$

Учитывая, что давление и скорость детонации между собой связаны уравнением (1) была выполнена оценка изменения давления продуктов взрыва на стенки шпура от плотности ЭВВ. Результаты такой оценки приведены на рис. 3.

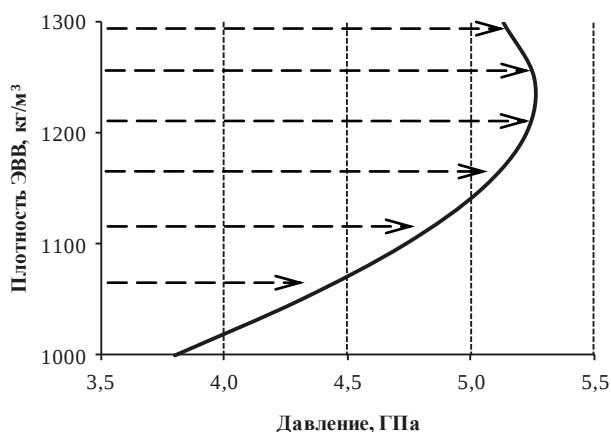


Рисунок 3 – Зависимость давления продуктов взрыва на стенки шпура от плотности ЭВВ в заряде

Из представленных на рис. 3 данных следует, что с увеличением плотности ЭВВ с $1,0 \text{ г/см}^3$ до $1,3 \text{ г/см}^3$ давление продуктов детонации на стенки шпура возрастает на 25...28 %. Однако вместе с этим, при достижении плотности ЭВВ близкой к критической ($\geq 1,3 \text{ г/см}^3$) снижается его чувствительность к детонационному импульсу промежуточного детонатора (ПД). Поэтому, для обеспечения устойчивого развития детонационной волны в «переуплотненном» заряде ЭВВ очевидно потребуется применение более мощного ПД, что в свою очередь является экономически нецелесообразным. В этой связи при выборе места «точки» инициирования рассредоточенного заряда ЭВВ необходимо исключить нахождение ПД в части заряда, где возможного «переуплотнение» ЭВВ.

Также переход процесса детонации в низкоскоростной режим сопровождается изменением термодинамических условий реакции взрывчатого превращения вследствие чего, возрастает вероятность изменения качественно-количественных характеристик состава продуктов взрыва. В этой связи была выполнена теоретическая оценка изменения концентрации СО в составе продуктов детонации для ЭВВ со слабо отрицательным кислородным балансом минус 0,35% при снижении давления взрывчатого превращения. Для моделирования процесса взрывчатого превращения использовали программу термодинамического расчета ««REAL» [10]. Результаты выполненной оценки приведены на рис. 4.

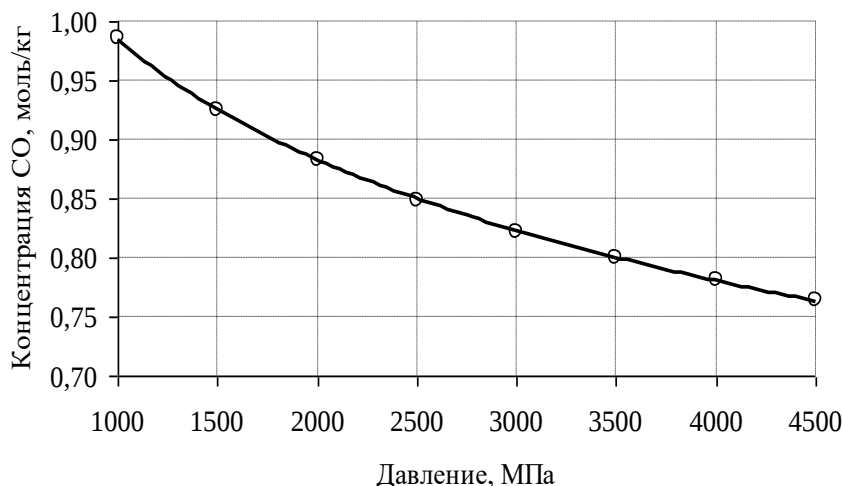


Рисунок 4 – Залежність зміни концентрації СО в складі продуктів вибуха ЕВВ від тиску детонації

Дані на рис. 4 показують, що при нормальних умовах в діапазоні тиску 4000...4500 МПа, що відповідає густоті ЕВВ 1,05...1,25 г/см³, спостерігається мінімальна концентрація СО в продуктах детонації. При цьому зміна концентрації СО описується апроксимуючим рівнянням виду

$$K_{CO} = -0,1474 \ln(P_d) + 2,0026 \quad (8)$$

ВИВОДИ. По результатам проведених досліджень виконана теоретична оцінка умов розвитку детонаційного процесу в зарядах ЕВВ з інертним проміжком різної конструкції.

Установлено, що вплив хвилі стиснення, викликане дією газодинамічного потоку при вибуху елемента розподіленого заряду, здатне викликати деформацію ЕВВ в заряді з зміною його густоти. При таких умовах можливо зміна термодинамічних умов реакції вибухового перетворення з зміною якісно-кількісного складу продуктів вибуха. Однак гнучка рецептура ЕВВ дозволяє змінювати еластично-пластичні властивості емульсії, тим самим мінімізувати вплив хвилі стиснення на елементи розподіленого заряду, яка виникає при порушенні послідовності ініціювання, забезпечуючи при цьому задані вибухові властивості ЕВВ. Тому для забезпечення технологічної ефективності і екологічної безпеки застосування ЕВВ важливим умовою є не тільки густина ЕВВ, але і в'язкість емульсійної матриці.

На основі вищезазначеного отримані результати досліджень можуть бути використані як рекомендації при виборі і оптимізації конструкцій скважинного заряду ЕВВ розподіленого інертним проміжком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жаров И.Ф. Эффективность разрушения горных пород зарядами разных конструкций // Взрывное дело. – М.: Недра. – 1986 – 89/46. С. 31–42.
2. Куринной В.П., Гаркуша И.П. Влияние волновых процессов в зарядной полости на разрушение массива горных пород // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 73. – 309 с.
3. Прокопенко В.С. Взрывание горных пород скважинными зарядами в рукавах – К.: Політехніка 2010. – 207 с.
4. Внедрение новых технологий как фактор повышения безопасности взрывных работ / Н.И. Ищенко, В.Ф. Монаков, О.В. Колтунов / Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников. – №3(20), 2010 – С. 2–7.
5. 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.
6. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ. – М.: ГНТИ Оборонгиз, 1960. – 247 с.
7. Соболев В.В., Кириченко А.Л. Метод построения ударных адиабат и численный анализ ударного сжатия горных пород // X Междунар. наук.-техн. конф. «Разработка, использование и экологическая безопасность современных гранулированных и эмульсионных взрывчатых веществ», Кошице, 2-9 февраля 2014 г. – Кременчуг: КрНУ, 2014. – С. 12–16.
8. Порядок работы по производству объемных эмульсионных взрывчатых веществ «ЕРА» РТ-6-2009.
9. Экспериментальные исследования детонационных характеристик патронированных ЭВВ / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Т.Ф. Холоденко, Д.В. Вашневский // Высокоэнергетические системы, процессы и их модели: [Сб. научн. тр.]. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2013. – С. 179–188.
10. Программа расчета термодинамических характеристик «REAL», // МГУ им. Ломоносова М.В., Москва.

**SPECIAL ASPECTS OF INITIATION OF EMULSION EXPLOSIVE
CHARGES SEPARATED BY INERT MATERIAL**

A. Kirichenko, D. Vashnevsky, E. Ustimenko, T. Kholodenko

State Enterprise Research-Industrial Complex “Pavlograd Chemical Plant”

vul. Zavodska, 44, Pavlograd, 51402, Ukraine. E-mail: tdirphz@pkhz.dp.ua

Purpose. Assessment of the impact of the gas-dynamic flow of detonation products on the charge of emulsion explosives through an element of the inert gap, the physico-chemical characteristics and thermodynamic conditions of the explosive conversion of emulsion explosives. **Methodology.** We have applied the experimental simulation of electromagnetic of emulsion explosive charges separated by inert material. **Results.** The dependence of change of the density and deformation degree of the emulsion explosive charge with chemical gasification influenced by compressive wave of different strength on the thixotropic properties of the emulsion was determined. In addition the theoretical evaluation of detonation products composition was made with regard to changing

thermodynamic conditions during explosive transition in decked charge of emulsion explosive when the charge elements are not simultaneously initiated. The results of the performed evaluation defined that error in sequence of explosive charges initiation may be one of the causes of changing qualitative-quantitative formula of detonation products. **Originality.** For the first time, it was found that under nonoptimal conditions of blasting of the emulsion explosive charges separated by inert material, the adaptability of their formulation within the limits established by the operating procedure makes it possible to minimize the formation of harmful detonation products. **Practical value.** The results of the performed investigations offered a comparative evaluation of conditions for the propagation of detonation in the model charge of emulsion explosives using various inert materials. References 11, tables 2, figures 4.

Key words: emulsion explosives, decked charge, initiation conditions, detonation and detonation products composition.

REFERENCES

1. Zharov, I. (1986), "Efficiency of the destruction of rocks by charges of various design", *Vzryvnoe delo*, vol. 89, no. 46, pp. 31–42.
2. Kurinnoy, V., Garkusha, I. (2007) "Influence of the wave processes in the charge cavity on destruction of rock massif", *Geotekhnicheskaja mehanika*, no. 73, 309 p.
3. Prokopenko, V. (2010) *Vzryvanie gornyh porod skvazhinnyimi zarjadami v rukavah*, [Blasting of rocks by borehole charges in gopher holes], Polytechnica, Kyiv, Ukraine.
4. Ishchenko, N., Monakov, V., Koltunov, O. "The introduction of new technologies as a factor to improve the safety of blasting operations", *Informacionnyj bjulleten' Ukrainskogo sojuza inzhenerov-vzryvnikov*, vol. 3, no. 20, pp. 2–7.
5. Kirichenko, A., Ustimenko, Ye., Shyman, L., Politov, V. (2012), "Study of detonation characteristics of blast-hole charges of packaged emulsion explosives", *Naukovyy visnyk NHU*, vol. 6, no. 132, pp. 37–41.
6. Andreyev, K., Belyayev, A. (1960), *Teoriya vzryvchatyh veshhestv*, [Theory of explosive material], GNTI OBORONGIZ, Moscow, Russia.
7. Sobolev, V., Kirichenko, A. (2014), "The method of plotting of shock adiabats and numerical analysis of shock compression of rocks", *X Mezhdunar. nauk.-tehn. konf. «Rozrabotka, ispol'zovanie i jekologicheskaja bezopasnost' sovremennyh granulirovannyh i jemul'sionnyh vzryvchatyh veshhestv»*, [X International Scientific and Technical Conference "Development, use and environmental safety of modern granulated and emulsion explosives"], Kosice- Kremenichug, February, 2-9, 2014, KrNU, pp. 12-16.
8. Operating procedure for production of bulk emulsion explosives «ERA» RT-6-2009.
9. Kirichenko, A., Ustimenko, E., Kholodenko, T., Vashnevsky, D. (2013), "Experimental studies of detonation characteristics of packaged emulsion explosives", *Vysokojenergeticheskie sistemy, processy i ih modeli*, pp. 179–188.
10. The program for calculating the thermodynamic properties "REAL", The Lomonosov Moscow State University, Moscow.

Стаття надійшла 29.09.2017.