

УДК 662.217

### ВЫБОР ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ФАЗЫ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ОТБОЙКИ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД СКВАЖИНАМИ УМЕНЬШЕННОГО ДИАМЕТРА

**С. А. Горин**

ЗАО «Спецхимпром»

ул. Профсоюзная, 3, г. Москва, 117036, Россия. E-mail: akaz2006@yandex.ru

**В. П. Куприн**

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»

пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49000, Украина. E-mail: ooo-ekkom@mail.ru

**Н. В. Савченко**

ООО «Ист-Форт»

пер. Краснознаменный, 4, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: snv@tourstroy.com.ua

Показано, что эмульсионные взрывчатые вещества на базе бинарного раствора аммиачной и кальциевой селитры в диапазоне пористости, имеющем наибольший практический интерес, проявляют работоспособность не ниже, чем эмульсионные взрывчатые вещества на основе монораствора аммиачной селитры и на основе бинарного раствора аммиачной и натриевой селитры. При этом эмульсионные взрывчатые вещества на базе бинарного раствора аммиачной и кальциевой селитры имеют существенно меньшие значения предельного диаметра.

**Ключевые слова:** химический состав окислительной фазы эмульсионных взрывчатых веществ, скважины уменьшенного диаметра, предельный диаметр заряда взрывчатых веществ, относительная работоспособность взрывчатых веществ.

### ВИБІР ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ОКИСЛЮВАЛЬНОЇ ФАЗИ ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ВІДБИВКИ МІЦНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД СВЕРДЛОВИНАМИ ЗМЕНШЕНОГО ДІАМЕТРУ

**С. А. Горин**

ЗАО «Спецхимпром»

вул. Профсоюзна, 3, м. Москва, 117036, Росія. E-mail: akaz2006@yandex.ru

**В. П. Купрін**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

пр. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49000, Україна. E-mail: ooo-ekkom@mail.ru

**Н. В. Савченко**

ТОВ «Іст-Форт»

пер. Червонознаменний, 4, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: snv@tourstroy.com.ua

Показано, що емульсійні вибухові речовини на базі бінарного розчину аміачної та кальцієвої селітри у діапазоні пористості, що становить найбільший практичний інтерес, мають працездатність не нижче, ніж емульсійні вибухові речовини на основі монорозчину аміачної селітри та на основі бінарного розчину аміачної та натрієвої селітри. При цьому емульсійні вибухові речовини на базі бінарного розчину аміачної та кальцієвої селітри мають суттєво менші значення граничного діаметру.

**Ключові слова:** хімічний склад окислювальної фази емульсійних вибухових речовин, свердловини зменшеного діаметру, граничний діаметр заряду вибухових речовин, відносна працездатність вибухових речовин.

**АКТУЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Анализ современных тенденций повышения эффективности буровзрывных работ при открытой добыче полезных ископаемых показывает, что наблюдается расширение области применения скважин уменьшенного диаметра (100–160 мм) [1]; увеличенное использование эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) [2].

Одновременно в России и на Украине прилагаются усилия по внедрению ЭВВ при подземной добыче, для которой характерно использование шпуров и скважин малого диаметра (до 100 мм).

Это обуславливает необходимость производства дешевых, надежных, экологически безопасных ЭВВ с малыми критическими и предельными диаметрами.

ЭВВ представляют собой эмульсии типа «вода в масле», сенсibilизированные газогенерирующими добавками или полыми микросферами. Окислитель представляет собой дисперсионную фазу высококон-

центрированного водного раствора селитры (до 85 % масс.), распределенного в виде микронных частиц в топливной фазе, содержащей поверхностно-активное вещество – эмульгатор. При этом топливная фаза и эмульгатор являются восстановителем.

Применяемые окислители подразделяются на три группы:

- а) на основе монораствора аммиачной селитры;
- б) на основе бинарного раствора аммиачной и натриевой селитры;
- в) на основе бинарного раствора кальциевой и аммиачной селитры.

Наиболее дешевыми ЭВВ (при прочих равных) являются наливные ЭВВ с газовыми порами [2]. Однако при их применении могут возникать проблемы с устойчивостью распространения де-

тонации, обусловленные структурой ЭВВ, их плотностью и параметрами инициирующего импульса [3, 4].

В работе [5] работоспособность ЭВВ, имеющих различный химический состав окислительной фазы и сенсibilизированных стеклянными микросферами фирмы «ЗМ», оценивалась методами баллистического маятника и расширяющего цилиндра. Однако выводы данного исследования о наибольшей работоспособности ЭВВ на основе монораствора аммиачной селитры были признаны сомнительными из-за различного количества воды в составе сравниваемых эмульсий [2]. В работах [6, 7] теоретически показано влияние химического состава ЭВВ на детонационные параметры при идеальной детонации. Величина критического и предельного диаметров при этом не определялась. Однако это совершенно необходимо для практического использования ЭВВ, особенно в скважинах уменьшенного диаметра.

Цель работы – оценка скорости детонации, величины предельного диаметра и работоспособности промышленных газосенсibilизированных ЭВВ в зависимости от химической природы окислителя.

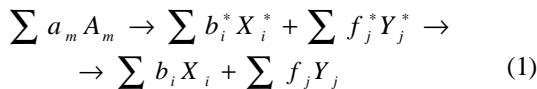
#### МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

При оценочных расчетах исходили из представлений, что детонационная волна в ЭВВ имеет двухслойную структуру [4]:

– зона сжатия, представленная конденсированным веществом, в расширяющихся из-за горения порах которого происходит разложение ВВ;

– газовая зона, представленная сильно уплотненным газовым телом, в котором происходит догорание ВВ.

Полагали, что при детонации рассматриваемых ЭВВ происходит химическая реакция согласно следующей схеме:



где  $A_m$  – начальные вещества;  $X_i$  ( $X_i^*$ ) – газообразные продукты взрыва;  $Y_j$  ( $Y_j^*$ ) – твердотельные продукты взрыва;  $a_m, b_i$  ( $b_i^*$ ),  $f_j$  ( $f_j^*$ ) – мольные коэффициенты. Индекс «\*» соответствует первичному распаду вещества эмульсии. Состояние в точке Чемпена-Жуге обозначено без индекса «\*».

При составлении уравнений (1) исходили из следующих положений.

1. Первичный распад сенсibilизированной эмульсии и ANFO происходит по схеме Баума [8] с образованием  $N_2, NO, H_2O, CO, CO_2$ .

2. Горение продуктов, образовавшихся при первичном распаде, осуществляется по схеме Бринкли-Вильсона [8].

3. Температура продуктов первичного распада сенсibilизированной эмульсии  $T_*$  рассчитывается с учетом повышения температуры в зоне реакции вследствие ударного сжатия вещества [9]:

$$T_* = T_0 + \frac{1}{C_V^y} \left[ \frac{P_f}{2} \left( \frac{1}{\rho_y^0} - \frac{1}{\rho_\epsilon} \right) + Q_V^y \right],$$

где  $T_0, Q_V^y, C_V^y$  – начальная температура, теплота первичного разложения, удельная теплоемкость продуктов разложения ЭВВ соответственно;  $P_f$  – фронтальное давление в детонационной волне;  $\rho_y^0$  – плотность ЭВВ в момент начала термического разложения [6, 10];  $\rho_\epsilon$  – плотность ЭВВ в зоне сжатия в момент прогорания.

4. Скорость разложения (горения)  $V_{гор}$  рассчитывали по теории Зельдовича–Беляева в предположении, что порядок реакций равен двум [11]:

$$V_{гор} = \frac{1}{r_k} \sqrt{\frac{2K_m}{Q_c} \left( \frac{RT_*^2}{E_a} \right)^3 \frac{3!}{(T_* - T_0)^2} \frac{M}{N_A} Z \exp\left(-\frac{E_a}{RT_*}\right)},$$

где  $E_a$  – энергия активации аммиачной селитры;  $N_A$  – число Авогадро;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $M$  – средняя молекулярная масса продуктов детонации ЭВВ;  $K_*$  – коэффициент теплопроводности первичных продуктов детонации (определяется для температуры  $T_*$  с учетом поправок Сезерланда);

$Q_a = \frac{P_f}{2} \left( \frac{1}{\rho_y^0} - \frac{1}{\rho_\epsilon} \right) + Q_V^y$ , где  $P_f$  – фронтальное давление в детонационной волне;  $Z$  – предэкспоненциальный множитель, определяемый по формуле [12]

$$Z = \pi d^2 \sqrt{\frac{6RT_*}{M} \left( \frac{P_f N_A}{RT_*} \right)^2},$$

где  $d$  – диаметр «мономолекул» ЭВВ.

5. Корректировка реакций первичного распада осуществляется на основе условия: скорость распространения реакций первичного распада не меньше скорости их догорания [7].

Введем следующие обозначения:  $\tau_i$  – время прогорания вещества эмульсии между сенсibilизирующими порами;  $R_0$  – средний радиус поры;  $\chi_i$  – начальная пористость ЭВВ;  $D$  – скорость детонации;  $k$  – коэффициент политропы продуктов детонации в т. Чемпена-Жуге;  $\gamma$  – показатель адиабаты взрывных газов;  $d_{lim}$  – предельный диаметр безоболочечного цилиндрического заряда.

Величину  $d_{lim}$  определяли, исходя из двухслойной структуры зоны реакции ЭВВ:  $d_{lim} \cong 2(1 + k / (k + 1)) D \tau_0$ , где, согласно [11],  $\tau_0 = (R_0 / V_{\dot{a}id}) \left[ (\pi / (6\chi_0))^{(1/3)} - 1 \right]$ . Ве-

личину критического диаметра принимали равной  $d_{krit} \cong D\tau_o$ .

Расчет величин  $P_f$ ,  $Q_v^y$ ,  $C_v^y$ ,  $\rho_y^0$ ,  $r_{\epsilon}$ ,  $D$ ,  $k$  и  $\gamma$  для ЭВВ осуществляли на основании методики, основные положения которой представлены в работах [4, 6, 9, 11, 13]. Указанная методика разработана на основании изучения особенностей строения окислительной фазы ЭВВ [14, 15]. Методика позволяет учитывать влияние на детонационные параметры зарядов ЭВВ, размеры частиц эмульсии которых превышают размеры сенсibiliзирующих пор и свойств их оболочек, физико-химические свойства газов, заполняющих пору, а также инициирующее воздействие промежуточного детонатора (капсюля–детонатора).

Расчет скорости детонации  $D(d)$  безоболочечных цилиндрических зарядов ЭВВ при диаметрах заряда  $d$  ( $d_{krit} < d < d_{lim}$ ) рассчитывали по формуле Бауэра-Кука [16], предложенной для жидких детонирующих по модели «горячих точек» ВВ,  $D(d) \approx D_0 (d/d_{lim})^{0,6}$ . Применительно к ЭВВ сенсibiliзированных гранулами пенополистирола такой расчет  $D(d)$  дал удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными [17].

Для сравнения ЭВВ с различными окислительными фазами рассчитывали их относительную работоспособность  $f$  (относительно аммонита № БЖВ плотностью  $1 \text{ г/см}^3$ ). При выполнении оценочных расчетов исходили из следующих значений параметров, характеризующих данное эталонное ВВ: скорость детонации при данной плотности –  $4900 \text{ м/с}$  [18]; удельные – теплота взрыва –  $1031 \text{ ккал/кг}$  и объем взрывных газов –  $893 \text{ л/кг}$  [19]; показатель политропы при данной плотности –  $2,53$  [20].

В качестве критериев относительной работоспособности  $f$  использовали эмпирические критерии Кукиба Б.Н. [19], Вайнштейна Б.И. [21], Лангефорса У. [22], а также термодинамические критерии: без учета потерь энергии ВВ на сжатие самого ВВ [23] и с учетом данных потерь [5]. Дополнительно в рамках термодинамического критерия [23] нами произведен расчет относительной работоспособности при двухполитропном описании расширения продуктов детонации с учетом потерь энергии на сжатие самого ВВ (в табл. 1–3 отражен в строке – «2-х адиаб.»).

При расчете относительной работоспособности ЭВВ в случае использования термодинамических критериев принимали: а) объем продуктов взрыва увеличивается по отношению к начальному объему ВВ в 10 раз (соответствует взрыву в крепких горных породах [5]); б) термодинамические параметры, характеризующие аммонит № БЖВ, заимствовали из работы [20].

Сравнивались наливные ЭВВ следующих химических составов: № 1 –  $NH_4NO_3$  – 77,0 %,  $H_2O$  – 16,0 %, топливная фаза – 7,0 %; № 2 –  $NH_4NO_3$  – 63,0 %,  $NaNO_3$  – 14,0 %,  $H_2O$  – 16,0 %, топливная фаза – 7,0 %; № 3 –  $NH_4NO_3$  – 46,0 %,  $Ca(NO_3)_2$  – 30 %,  $H_2O$  – 16,0 %, топливная фаза – 8,0 %. Параметры структур ЭВВ полагали идентичными:  $R_o = 40 \text{ мкм}$  (при внешнем давлении  $0,1 \text{ МПа}$ ), размер частиц эмульсии –  $3 \text{ мкм}$ . Для

определенности рассматривали режим нормальной детонации без ( $k_{пересжат.}=1$ ). Результаты расчетов  $f$ ,  $D$  и  $d_{lim}$  при различных  $\chi_i$  представлены в табл.1–3.

Таблица 1 – Расчетные значения  $f, D, d_{lim}$  для состава № 1

Показатели	Пористость				
	0,05	0,10	0,20	0,25	
Скорость детонации, м/с	4985	4893	4740	4626	
Предельный диаметр, мм	175,2	104,6	51,7	38,1	
Относ. работоспособность	[19]	0,843	0,799	0,710	0,665
	[21]	0,925	0,879	0,788	0,742
	[22]	0,830	0,786	0,700	0,655
	[23]	0,994	0,988	0,916	0,866
	[5]	0,970	0,957	0,908	0,866
	[24]	0,742	0,842	1,002	1,000
	2-х адиаб.	0,810	0,800	0,769	0,751

Таблица 2 – Расчетные значения  $f, D, d_{lim}$  для состава № 2

Показатели	Пористость				
	0,05	0,10	0,20	0,25	
Скорость детонации, м/с	4702	4584	4412	4346	
Предельный диаметр, мм	177,0	105,4	52,1	38,5	
Относ. работоспособность	[19]	0,857	0,812	0,722	0,676
	[21]	0,899	0,853	0,765	0,724
	[22]	0,846	0,801	0,712	0,668
	[23]	0,927	0,887	0,806	0,775
	[5]	0,892	0,863	0,799	0,776
	[24]	0,609	0,677	0,809	0,876
	2-х адиаб.	0,751	0,747	0,736	0,731

Таблица 3 – Расчетные значения  $f, D, d_{lim}$  для состава № 3

Показатели	Пористость				
	0,05	0,10	0,20	0,25	
Скорость детонации, м/с	4825	4689	4557	4456	
Предельный диаметр, мм	51,4	31,0	15,6	12,0	
Относ. работоспособность	[19]	0,983	0,952	0,828	0,776
	[21]	1,005	0,992	0,850	0,801
	[22]	0,979	0,932	0,824	0,773
	[23]	0,997	0,945	0,836	0,780
	[5]	0,959	0,918	0,826	0,778
	[24]	0,841	0,887	0,918	0,914
	2-х адиаб.	0,805	0,792	0,759	0,739

**ВЫВОДЫ.** ЭВВ на базе бинарного раствора аммиачной и кальциевой селитры в диапазоне пористости, имеющем наибольший практический интерес, показывают работоспособность не ниже, чем ЭВВ на основе монораствора аммиачной селитры и на основе бинарного раствора аммиачной и натриевой селитры. При этом ЭВВ на базе бинарного раствора аммиачной и кальциевой селитры имеют существенно меньшие значения предельного диаметра. Данные обстоятельства могут иметь решающее значение при выборе перспективных направлений развития рецептур и технологий производства ЭВВ и их дальнейшего применения в подземных условиях и использовании скважин уменьшенного диаметра на карьерах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Перспективность применения скважин малого диаметра при взрывании скальных и полускальных горных пород на карьерах и угольных разрезах. Секисов Г.В., Викторов С.Д., Мирошников В.И. и др. // В сб. трудов Четвертой международной конференции, 18–22 октября 2004 г. – Москва: ИПКОН РАН, 2005. – С. 225–230.
- Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. Книга 1 (Составы и свойства). – Дзержинск, Нижегородской обл.: Издательство ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 592 с.
- Кукиб Б.Н., Иоффе В.Б., Жученко Е.И. и др. Детонационная способность современных промышленных взрывчатых веществ // В сб. трудов Четвертой международной конференции, 18–22 октября 2004 г. – Москва: ИПКОН РАН, 2005. – С. 293–296.
- Горин С.А., Кутузов Б.Н. О неустойчивости детонационных волн в эмульсионном взрывчатом веществе, сенсибилизированном газовыми порами // Горн.инфор.-аналит. бюлл. – 2012. – № 4. – С. 302–307.
- Кудзило С., Кохличек П., Тржчинский В.А., Зеeman С. Рабочие характеристики эмульсионных взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. – 2002. – Т. 38, № 4. – С. 95–102.
- Горин С.А., Куприн В.П., Коваленко И.Л., Собина Е.П. Теоретическая оценка влияния химической природы окислителя на детонационные характеристики эмульсионных взрывчатых веществ // В кн.: Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле. III Уральский горно-промышленный форум. – г. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – С. 191–201.
- Горин С.А., Маслов И.Ю. Влияние химического состава окислительной фазы ЭВВ на взрывчатые характеристики при их сенсибилизации пластиковыми полимикросферами // Отдельные статьи Горн. инфор.-аналит. бюлл. – 2011. – № 12. – С. 9–16.
- Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. – М.: Физматгиз, 1959. – 800 с.
- Горин С.А. Теоретическая оценка детонационных параметров гранэммитов // Горн. инфор.-аналит. бюлл. – 2010. – № 8. – С. 121–130.
- Горин С.А., Куприн В.П., Коваленко И.Л. Оценка детонационной способности эмульсионных взрывчатых веществ // В кн.: Высокоэнергетическая обработка материалов. – Днепропетровск: Арт-пресс, 2009. – С. 18–26.
- Кутузов Б.Н., Горин С.А. Иницирование эмульсионных ВВ гранэммитов промежуточными детонаторами // Отдельные статьи Горн. инфор.-аналит. бюлл. – 2011. – № 7. – С. 5–19.
- Беляев А.Ф. О горении взрывчатых веществ // Журн. физ. химии. – 1938. – Т. 12. – С. 93–99.
- Кутузов Б.Н., Горин С.А. Физико-технические основы создания эмульсионных и гранулированных ВВ и средств их иницирования. Отдельные статьи Горн. инфор.-аналит. бюлл. – 2011. – № 7. – С. 34–52.
- Горин С.А., Кутузов Б.Н., Собина Е.П. Структура окислительной фазы эмульсионных взрывчатых веществ. Отдельные статьи Горн. инфор.-аналит. бюлл. – 2011. – № 7. – С. 20–33.
- Горин С.А., Маслов И.Ю., Собина Е.П. Исследование структуры эмульпорнов // Отдельные статьи Горн. инфор.-аналит. бюлл. – 2011. – № 9. – С. 3–14.
- Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. – М.: Недра, 1980. – 453 с.
- Горин С.А., Маслов И.Ю. Оценка детонационных параметров эмульсионных взрывчатых веществ сенсибилизированных пластиковыми полимикросферами // Отдельные статьи Горн. инфор.-аналит. бюлл. – 2011. – № 7. – С. 53–63.
- Шведов К.К., Дремин А.Н. О параметрах детонации промышленных ВВ и их сравнительной оценке // Взрывное дело. – № 76/33. – М.: Недра, 1976. – С. 137–150.
- Афанасенков А.Н., Котова Л.И., Кукиб Б.Н. О работоспособности промышленных взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37, № 3. – С. 115–125.
- Кутузов Б.Н., Горин С.А. Расчет детонационных параметров аммиачно-селитренных ВВ // Горн. инфор.-аналит. бюлл. – 2010. – № 6. – С. 40–49.
- Вайнштейн Б.И., Чернов К.С., Песоцкий М.К. Анализ методов определения работоспособности // Взрывное дело. – № 84/41. – М.: Недра, 1982. – С. 75–83.
- Johansson C.H., Langefors U. Methods of physical characterization of explosives // Proc. of the 36<sup>th</sup> Intern. Congress on Industrial Chemistry. – Brussels, 1972. – V. III. – P. 610.
- Давыдов В.Ю., Дубнов Л.В., Гришкин А.М. Универсальный термодинамический критерий эффективности ВВ // Физика горения и взрыва. – 1992. – Т. 28, № 4. – С. 102–107.
- Шведов К.К. Об определении работоспособности взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. – 1984. – Т. 20, № 3. – С. 60–64.

**CHEMICAL COMPOSITION OF OXIDIZING PHASE OF EMULSION EXPLOSIVES  
FOR SOLID ROCKS BREAKING WITH REDUCED DIAMETER HOLES**

**S. Gorinov**

Spekhimprom, CJSC

ul. Profsouznaya, 3, Moscow, 117036, Russia. E-mail: akaz2006@yandex.ru

**V. Kuprin**

Ukrainian State University of Chemical Technology

prosp. Gagarina, 8, Dnipropetrovsk, 49000, Ukraine. E-mail: ooo-ekkom@mail.ru

**N. Savchenko**

Ist-Fort, JSC

per. Krasnoznamennyi, 4, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: snv@tourstroy.com.ua

It is shown that working capacity of emulsion explosives on the basis of binary solution of ammonium and calcic nitrate within the range of the most practical porosity, does not yield to emulsion explosives on the basis of monosolution of ammonium nitrate and on the basis of binary solution of ammonium and sodium nitrate. Thus, emulsion explosives based on the binary solution of ammonium and calcic nitrate have the critical diameter that are smaller essentially.

**Key words:** chemical composition of the oxidizing phase of emulsion explosives, reduced diameter hole, critical diameter of the explosive charge, relative operability of explosives.

REFERENCES

1. Sekisov G. V., Victorov S. D., Miroshnikov V., etc. Prospects of small diameter wells usage for rock and semi-rock blasting in quarries and opencast mines // *Proc. of the Fourth International Conference*, 18–22 October 2004. – Moscow: IPKON Academy of Sciences, 2005. – PP. 225–230. [in Russian]
2. Kolganov E.V., Sosnin V.A. *Industrial emulsion explosives*. – 1st book (composition and properties.) – Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region: State Science Research Institute publishing "Crystal", 2009. – 592 p. [in Russian]
3. Kukib B.N., Joffe V.B., Zhuchenko E.I. etc. Detonation features of up-to-date industrial explosives // *Proc. of the Fourth International Conference*, 18–22 October 2004. – Moscow: IPKON Academy of Sciences, 2005. – PP. 293–296. [in Russian]
4. Gorinov S.A., Kutuzov B.N. On the instability of detonation waves of the emulsion explosive with gas-sensitized cells // *Mining inform. and analyt. Bulletin*. – 2012. – № 4. – PP. 302–307. [in Russian]
5. Kudzilo S., Kochlichek P., Trzcinski V., Seemann S. Working features of emulsion explosives // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. – 2002. – Vol. 38, № 4. – PP. 95–102. [in Russian]
6. Gorinov S.A., Kuprin V.P., Kovalenko I.L., Sobina E.P. Theoretical evaluation of the influence of the chemical composite of the oxidant on the detonation characteristics of emulsion explosives // *The development of resource-saving technologies in the blasting work. III Ural Mining and Industrial Forum*. – Yekaterinburg: Ural RAN. 2009. – PP. 191–201. [in Russian]
7. Gorinov S.A., Maslov I.Yu. The influence of the chemical composition of the oxidative phase of the emulsion explosives on explosive characteristics when their sensitization with plastic polymicrosphere // Collected works. *Mining inform. and analyt. bulletin*. – 2011. – № 12. – PP. 9–16. [in Russian]
8. Baum F.A., Stanyukovich K.P., Schechter B.I. *Physics of the explosion*. – Moscow: Fizmatgiz, 1959. – 800 p. [in Russian]
9. Gorinov S.A. Theoretical estimation of detonation parameters granemits // *Mining inform. and analyt. Bulletin*. – 2010. – № 8. – PP. 121–130. [in Russian]
10. Gorinov S.A. Kuprin V.P., Kovalenko I. L. Evaluation of the detonation ability emulsion explosives // *High energy materials processing*. – Dnepropetrovsk: Art Press, 2009. – PP. 18–26. [in Russian]
11. Kutuzov B.N., Gorinov S.A. Initiation of emulsion explosives granemites intermediate detonators // Collected works *Mining inform. and analyt. bulletin*. – 2011. – № 7. – PP. 5–19. [in Russian]
12. Belyaev A.F. Combustion of explosives // *Chern. phys. Journal*. – 1938. – V. 12. – PP. 93–99. [in Russian]
13. Kutuzov B.N., Gorinov S.A. Physical and technical basis for emulsion and granular explosives and their means of initiation // Collected works. *Mining inform. and analyt. bulletin*. – 2011. – № 7. – PP. 34–52. [in Russian]
14. Gorinov S.A., Kutuzov B.N., Sobina E.P. The structure of the oxidative phase of emulsion explosives // Collected works. *Mining inform. and analyt. bulletin*. – 2011. – № 7. – PP. 20–33. [in Russian]
15. Gorinov S.A., Maslov I.Yu., Sobina E.P. Investigation of the structure emulcavity // Collected works. *Mining inform. and analyt. bulletin*. – 2011. – № 9. – PP. 3–14. [in Russian]
16. Cook M.A. *The science of industrial explosives*. – M.: Nedra, 1980. – 453 p. [in Russian]
17. Gorinov S. Maslov, IV Evaluation parameters of detonation of emulsion explosives sensitized plastic polymicrosphere // Collected works. *Mining inform. and analyt. bulletin*. – 2011. – № 7. – PP. 53–63. [in Russian]
18. Swedov K.K., Dremn A.N. The parameters of the detonation of industrial explosives and their comparative evaluation // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. – № 76/33. – M.: Nedra, 1976. – PP. 137–150. [in Russian]
19. Afanasenkov A.N., Kotova L.I., Kukib B.N. On the performance of industrial explosives // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. – 2001. – Vol. 37, № 3. – PP. 115–125. [in Russian]
20. Kutuzov B.N., Gorinov S.A. The calculation of detonation parameters of ammonium nitrate explosives // *Mining inform. and analyt. bulletin*. – 2010. – № 6. – PP. 40–49. [in Russian]
21. Weinstein B., Chernov K.S., Pesotsky M.K. Analysis methods for determining efficiency // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. – № 84/41. – M.: Nedra, 1982. – PP. 75–83. [in Russian]
22. Johansson C.H., Langefors U. Methods of physical characterization of explosives // *Proc. of the 36th Intern. Congress on Industrial Chemistry*. – Brussels, 1972. – V. III. – P. 610.
23. Davydov V.Y., Dubnov L.V., Grishkin A.M. Universal termodinimichesky efficiency criterion explosives // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. – 1992. – Vol. 28, № 4. – PP. 102–107. [in Russian]
24. Shvedov K.K. On the definition of performance of explosives // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. – 1984. – Vol. 20, № 3. – PP. 60–64. [in Russian]

Стаття надійшла 17.09.2012.

Рекомендовано до друку  
к.х.н., доц. Козловською Т.Ф.