

## ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ЭМУЛЬСИОННОГО ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА, СЕНСИБИЛИЗИРОВАННОГО ГРАНУЛАМИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

**И. Ю. Маслов**

ООО «Глобал Майнинг Эксплозив–Раша»

ул. Профсоюзная, 3, г. Москва, Россия. E-mail: [ilmaslov@mail.ru](mailto:ilmaslov@mail.ru)

Разработана методика оценки образования в эмульсионном взрывчатом веществе, сенсibilизированном гранулами пенополистирола, связанной «гранульно-воздушной системы». Образование данных сквозных каналов в ЭВВ может приводить к смене механизма возбуждения взрывчатого вещества, что нужно будет учитывать при разработке методики расчета детонационных параметров низкоплотных эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола.

**Ключевые слова:** эмульсионное взрывчатое вещество, сенсibilизированное гранулами пенополистирола, связанная «воздушно-гранульная система», характеристическая плотность.

## ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИЧНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ЕМУЛЬСІЙНОЇ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ, СЕНСИБІЛІЗОВАНОЇ ГРАНУЛАМИ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ

**І. Ю. Маслов**

ТОВ «Глобал Майнинг Експлозив–Раша»

вул. Профсоюзна, 3, м. Москва, Росія. E-mail: [ilmaslov@mail.ru](mailto:ilmaslov@mail.ru)

Розроблена методика оцінки утворення в емульсійній вибуховій речовині, сенсibilізованій гранулами пінополістиролу, зв'язною «гранульно-повітряної системи». Утворення даних крізних каналів в емульсійних вибухових речовинах може призводити до зміни механізму збудження вибухових речовин, що необхідно буде враховувати при розробці методики розрахунку детонаційних параметрів низько щільних емульсійних вибухових речовин, сенсibilізованих гранулами пінополістирола.

**Ключові слова:** емульсійна вибухова речовина, сенсibilізована гранулами пінополістиролу, зв'язна «повітряно-гранульна система», характеристична щільність.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Ранее выполненные исследования [1–3] показали, что детонационные показатели эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), сенсibilизированных гранулами пенополистирола, при плотностях 0,9–1,15 г/см<sup>3</sup> существенно ниже, чем аналогичные показатели для ЭВВ, если его сенсibilизация осуществляется газовыми порами или стеклянными (пластиковыми) мономикросферами.

Показано, что при плотностях рассматриваемых ЭВВ более 0,75 г/см<sup>3</sup> (для ЭВВ с окислительной фазой на аммиачной селитре), возбуждение ВВ осуществляется вследствие разогрева в ударной волне вещества матричной эмульсии при втекании его в коллапсирующие поверхностные поры гранулы пенополистирола [3].

## НОВІ ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

При плотностях ЭВВ, сенсibiliзироваанном гранулами пенополистирола, менее  $0,75 \text{ г/см}^3$  (для ЭВВ с окислительной фазой на аммиачной селитре) отмечены отклонения между расчетными и экспериментальными значениями скорости детонации [3].

Однако данные области низкоплотных ЭВВ, сенсibiliзироваанных гранулами пенополистирола, представляют значительный практический интерес для разработки высокомеханизированных технологий при проведении взрывных работ по заоткоске бортов карьеров и(или) добыче горных пород, содержащих ценные хрупкие включения вследствие следующих факторов:

1. ЭВВ, сенсibiliзироваанные гранулами пенополистирола, позволяют формировать скважинный заряд практически не подверженный усадке под действием гидростатического давления (в пределах до 5–6 атм, что достаточно для практического использования).

2. Вследствие малых плотностей заряда следует ожидать низкий уровень давления взрывных газов в скважине, что снизит разрушительное действие заряда в горных породах.

Цель работы – оценка характеристической плотности эмульсионного взрывчатого вещества, сенсibiliзироваанного гранулами пенополистирола.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Для объяснения отклонений расчетного и экспериментального значений скорости детонации при плотности ЭВВ, сенсibiliзироваанном гранулами пенополистирола, менее  $0,75 \text{ г/см}^3$  (для ЭВВ с окислительной фазой на аммиачной селитре) выдвинуты следующие положения:

а) при малой плотности рассматриваемого ЭВВ в нем образуется связанная система «гранулы пенополистирола-воздушные поры»;

б) наличие сквозных каналов меняет механизм возбуждения ЭВВ (возбуждение низкоплотного ЭВВ, сенсibiliзироваанного гранулами пенополистирола, будет осуществляться по механизму, предложенному В.В. Андреевым [4]).

Согласно [4], в низкоплотных ВВ возбуждение происходит под действием высокоэнтальпийного газового потока, фильтрующегося из области высокого давления. При этом химическая реакция происходит в форме поверхностного горения частиц ВВ, взаимодействующих с потоком газа.

В настоящей работе определяется критерий образования в ЭВВ, сенсibiliзироваанном гранулами пенополистирола, связанной системы «гранулы пенополистирола-воздушные поры». В этом случае, структуру ЭВВ можно представить в виде «тумана» из капелек матричной эмульсии, которые разделены друг от друга воздушными включениями и(или) малопрочными высокопористыми (90–98 %) гранулами из вещества с акустической жесткостью, близкой к акустической жесткости матричной эмульсии.

Введем следующие обозначения:

$R_{гр}$  – средний радиус гранулы пенополистирола;

$2a$  – среднее расстояние между центрами гранул;

$k_{уп}$  – коэффициент упаковки ячеек (отношение объема ячейки к объему шара

радиуса  $a$ );

$\chi_{возд}$  – коэффициент воздушной пористости матричной эмульсии (воздух «подхватывается» системой в процессе смешения);

$\chi_{гр}$  – коэффициент гранульной пористости;

$\zeta$  – отношение насыпного объема гранул пенополистирола к объему матричной эмульсии;

$\rho_{oo}$  – плотность ЭВВ, сенсibiliзирoванного гранулами пенополистирола;

$\rho_{эм}$  – плотность матричной эмульсии;

$\rho_{пт}$  – насыпная плотность гранул пенополистирола.

Представим рассматриваемое ЭВВ в виде ансамбля из ячеек, содержащих одну гранулу пенополистирола и имеющих некоторый характерный размер  $a$ . Тогда для гранульной пористости ЭВВ имеем:

$$\chi_{гр} \cong \left( \frac{R_{гр}}{a} \right)^3 \frac{1}{k_{yn}}. \quad (1)$$

Обозначим через  $V_{яч}$ ,  $V_{гр}$ ,  $V_{эм}$  и  $V_{возд}$  – объемы ячейки, гранулы пенополистирола, матричной эмульсии и объем воздуха, содержащиеся в ячейке.

Тогда воздушная пористость эмульсии равна

$$\chi_{возд} = \frac{V_{возд}}{V_{яч} - V_{гр}}. \quad (2)$$

В случае низкоплотных ЭВВ гранулы пенополистирола сближены между собой ( $a$  – лишь незначительно превосходит  $R_{гр}$ ), поэтому по аналогии заполнения пространства одинаковыми шарами [5, 6], полагаем, что каждая ячейка будет окружена восемью соседними ячейками. В соответствии с принципами симметрии, полагаем, что основной объем воздуха ячейки будет находиться в восьми одинаковых пузырьках, прилипших к поверхности гранулы пенополистирола. Считая, что указанные пузырьки имеют форму полусфер и, учитывая, что  $V_{яч} = k_{yn} V_{гр}$ , на основании (1) и (2) определяем

$$r_{п} = \frac{R_{гр}}{2} \left( \frac{2\chi_{возд}(1 - \chi_{гр})}{\chi_{гр}} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

где  $r_{п}$  – радиус прилипшего к поверхности гранулы пузырька воздуха.

Можно показать, что расстояние между гранулами  $\delta = 2R_{гр} \left[ \frac{1}{(k_{yn}\chi_{гр})^{\frac{1}{3}}} - 1 \right]$ . То-

гда минимальная толщина слоя матричной эмульсии в промежутке между соседними гранулами будет равна

$$\delta_* = 2R_{гр} \left[ \frac{1}{(k_{yn}\chi_{гр})^{\frac{1}{3}}} - 1 - \frac{1}{4} \left( \frac{2\chi_{возд}(1 - \chi_{гр})}{\chi_{гр}} \right)^{\frac{1}{3}} \right]. \quad (4)$$

## НОВІ ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Связная «гранульно-воздушной система» («сквозные каналы») возникает в случае соприкосновения воздушных пузырьков с поверхностями соседних гранул, т.е. при выполнении условия

$$\delta_* \leq 0. \quad (5)$$

Найдем полезные соотношения между параметрами  $k_{уп}$ ,  $\chi_{возд}$ ,  $\chi_{зр}$  и  $\zeta$ .

Положим, что рассматриваемое ЭВВ получается из смешения гранул, имеющий некоторый насыпной объем  $V_{гр}^{нас}$ , и объема матричной эмульсии  $V_{эм}^*$ . Объем собственно гранул  $V_{гр}^*$  найдем из уравнения:  $V_{гр}^{нас} \cong k_{уп} V_{гр}^*$ . Тогда, учитывая, что по определению  $\zeta = \frac{V_{гр}^{нас}}{V_{эм}^*}$ , получаем

$$\frac{V_{гр}^*}{V_{эм}^*} = \frac{\zeta}{k_{уп}}. \quad (6)$$

Для ячейки имеем очевидное равенство

$$V_{яч} = V_{эм} + V_{гр} + V_{возд}. \quad (7)$$

Так как соотношение (6) определено для произвольных значений  $V_{гр}^{нас}$  и  $V_{эм}^*$ , то оно выполняется и для величин  $V_{гр}$ ,  $V_{эм}$ .

По определению

$$\chi_{зр} = V_{гр} / V_{яч}. \quad (8)$$

На основании (2), (6)–(8) определяем взаимосвязь между параметрами  $k_{уп}$ ,  $\chi_{возд}$ ,  $\chi_{зр}$  и  $\zeta$ :

$$\frac{1 - \chi_{зр}}{\chi_{зр}} = \frac{k_{уп}}{\zeta(1 - \chi_{возд})}. \quad (9)$$

Так как  $\rho_{оо} = k_{уп} \rho_{м} \chi_{зр} + \rho_{эм} (1 - \chi_{возд})(1 - \chi_{зр})$ , то учитывая соотношение (9), оценочный критерий (5) можно представить в следующем удобном для технического анализа виде

$$1 + \frac{1}{4} \left[ \frac{2k_{уп}}{\zeta} \left( \frac{\rho_{эм} - \zeta \left( \frac{\rho_{оо} - \rho_{м}}{k_{уп}} \right)}{\rho_{оо}} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{3}} - \left[ \frac{\rho_{эм} - \zeta \left( \frac{\rho_{оо} - \rho_{м}}{k_{уп}} \right)}{\zeta \rho_{оо}} + \frac{1}{k_{уп}} \right]^{\frac{1}{3}} \geq 0 \quad (10)$$

Критерий (10) задает область возможных характеристических значений начальной плотности ЭВВ  $\rho_{оо}$  и отношения насыпного объема гранул пенополистирола к объему матричной эмульсии  $\zeta$  при данных значениях плотности матричной эмульсии  $\rho_{эм}$ , насыпной плотности гранул пенополистирола  $\rho_{м}$  и ко-

## НОВІ ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

эффициента их упаковки  $k_{уп}$ , когда в ЭВВ образуется связная система «гранулы пенополистирола–воздушные поры». Структура ЭВВ в этом случае представляется в виде «тумана» из капелек матричной эмульсии, разделенных друг от друга воздушными включениями и(или) малопрочными высокопористыми (90–98 %) гранулами.

На рис. 1, 2 представлены области образования «сквозных каналов» в ЭВВ с матричной эмульсией типа «Порэмит–1А» ( $\rho_{эм} = 1,33 \text{ г/см}^3$ ) и типа «Украинит–ПП–2» ( $\rho_{эм} = 1,48 \text{ г/см}^3$ ) при  $k_{уп} = 1,6$  и различных значений насыпной плотности гранул пенополистирола.

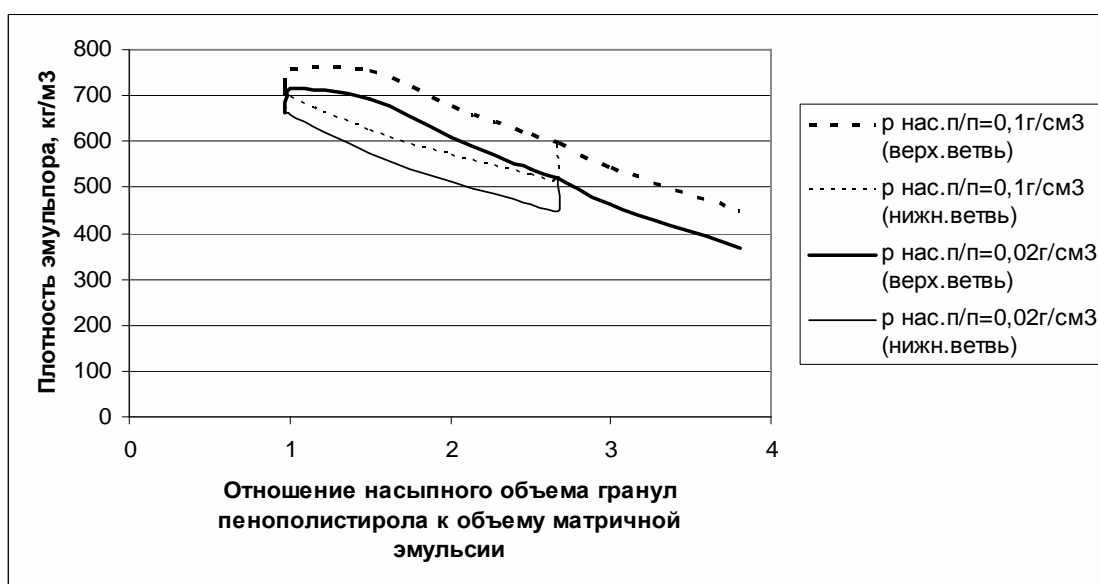


Рисунок 1 – Область образования «сквозных каналов» в ЭВВ с матричной эмульсией типа «Порэмит–1А»

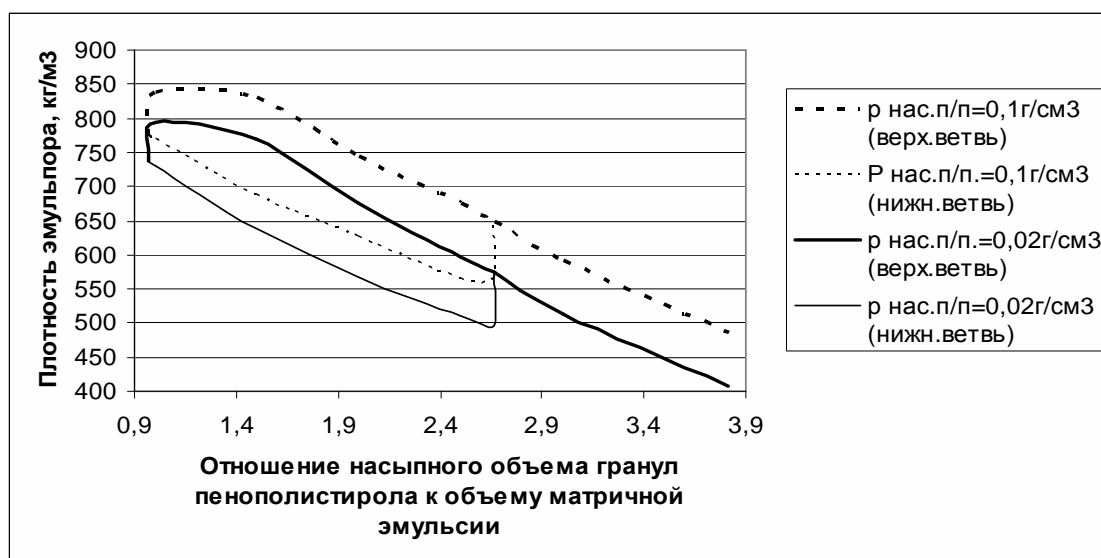


Рисунок 2 – Область образования «сквозных каналов» в ЭВВ с матричной эмульсией типа «Украинит–ПП–2»

## НОВІ ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Верхня ветвь графиков (рис. 1, 2) отражает ограничения на начальную плотность ЭВВ при минимальном допустимом по выполнению (10) значении воздушной пористости, а нижняя – при максимально возможно количестве «запертого» в ЭВВ воздуха. На основании опытов по газификации ЭВВ принимали, что максимально возможное значение «запертой» воздушной пористости в эмульсии составляет 30 % (без добавления в матричную эмульсию специальных добавок, повышающих устойчивость эмульсионной пены), в противном случае будет происходить «усадка» ЭВВ с выделением из него излишков воздуха.

«Хвосты», исходящие из областей, где происходит образование связанной «гранульно-воздушной системы» (рис. 1, 2), соответствуют областям, где произошло смыкание гранул пенополистирола, а эмульсия будет располагаться только в межузловом пространстве гранул.

**ВЫВОДЫ.** Разработана методика оценки образования в ЭВВ, сенсibilизированном гранулами пенополистирола, связанной «гранульно-воздушной системы».

Образование данной системы способствует возникновению «сквозных каналов» в ЭВВ, что приводит к смене механизма возбуждения ВВ. Последнее необходимо учитывать при разработке методики расчета детонационных параметров низкоплотных ЭВВ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. 1-я книга (Составы и свойства). – Дзержинск: Издательство ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 592 с.

2. Горинов С.А., Маслов И.Ю. Оценка детонационных параметров эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных пластиковыми полимикросферами // Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – 2011. – №7. – С. 53–63.

3. Маслов И.Ю. Повышение эффективности взрывной подготовки вмещающих горных пород на разрезах Кузбасса с применением эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола: дисс. ... канд.техн. наук; спец. 25.00.20. – М., 2013. – 132с.

4. Андреев В.В., Ершов А.П., Лукьянчиков Л.А. Двухфазная низкоскоростная детонация пористого ВВ // ФГВ. – 1979. – Т. 15, № 1. – С. 89–93.

5. Власов О.Е. Основы теории действия взрыва. – М.: Изд-во. ВИА, 1957. – 408 с.

6. Крысин Р.С., Новинский В.В. Модели взрывного дробления горных пород. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2006. – 144 с.

### ESTIMATES OF THE CHARACTERISTIC DENSITY EMULSION EXPLOSIVES SENSITIZED POROUS POLYSTYRENE GRANULES

**I. Maslov**

"Global Mining explosions-Russia"

vul. Profsouznaya, 3, Moscow, Russia. E-mail: ilmaslov@mail.ru

It is shown that in the low-density emulsion explosives ( EVV ) obtained by mixing the emulsion with a significant amount of light low-strength pellets (mixed arises connected pellet - air system ) excitation detonation occurs under high enthalpy gas

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2014(13).

flow, the filter from the high pressure region. When this chemical reaction occurs to form the combustion surface of the emulsion particles interacting with gas flow. The analytical criteria to assess the conditions of jet detonation. The findings provide useful from a practical point of view, the results for the study of the gentle blasting technology using low-density EE.

**Key words:** low-density EE, connected pellet-air system, high enthalpy gas stream, transmission of detonation explosive gas jets.

#### REFERENCES

1. Kolganov E.V., Sosnin V.A. Emulsion explosives industry. 1-st book (Composition and properties). Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region, Publishing Institute "Crystal", 2009. 592 p.
2. Gorinov S.A., Maslov I.Y. Evaluation parameters of detonation of emulsion explosives sensitized plastic polimikrosferami: Individual articles Mining information-analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2011. - № 7. - pp. 53-63. (M.: Publishing house "Mountain book." - 2011).
3. Maslov I.Y. Improving the efficiency of explosive training enclosing rocks in sections Kuzbass using emulsion explosives sensitized polystyrene beads / Diss. on soisk . academic degree ... kand.tehn . Sciences, spec. 25.00.20, M., 2013. - pp. 132.
4. Andreev V.V., Ershov A.P., Lukyanchikov L.A. Porous low-speed two-phase detonation of explosives / Combustion, Explosion, 1979, v.15, № 1, pp.89 - 93.
5. Vlasov O.E. Fundamentals of the theory of action of the explosion. M. ed. MEA, 1957. - 408 p.
6. Krysin R.S., Novinsky V.V. Model of the explosive rock crushing. - Dnepropetrovsk, ART-PRESS, 2006 - 144 p.

Стаття надійшла 05.05.2014

УДК 661.52:662.2

#### О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АММИАЧНОСЕЛИТРЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С АКТИВИРОВАННЫМИ ПОРОШКАМИ ПИРИТА

**И. Л. Коваленко**

ГБУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»  
просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49000, Украина.

E-mail: il-kovalenko@mail.ru

**В. П. Куприн**

ООО «Экком»

ул. В. Дубинина, 69, г. Днепропетровск, 49000, Украина.

E-mail: kuprinvp@mail.ru

**О. В. Колтунов**

ПАО „ППП „Кривбассвзрывпром”

ул. Каховская, 40, г. Кривой Рог, 50005, Украина. E-mail: olaf1961@yandex.ru

Показано, что параметры термодеструкции аммиачной селитры при контакте с пиритом зависят от окисленности поверхности и способа подготовки порошка

---

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2014(13).