

**УЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ВСПЕНИВАНИЯ ГРАНУЛ ПОЛИСТИРОЛА
ПРИ РАСЧЕТЕ ПЛОТНОСТИ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВАТЫХ
ВЕЩЕСТВ, СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ ЭТИМИ ГРАНУЛАМИ**

И. Ю.Маслов

ООО «Глобал Майнинг Эксплозив–Раша»

ул. Профсоюзная, 3, г. Москва, Россия. E-mail: ilmaslov@mail.ru

Получено выражение для определения плотности эмульсионных взрывчатых веществ с учетом массовой доли изопентана в суспензионном полистироле, коэффициента вспенивания, отношения насыпного объема гранул пенополистирола к объему матричной эмульсии при изготовлении эмульсионных взрывчатых веществ, технологии смешивания эмульсии с гранулами пенополистирола и химического состава эмульсии.

Ключевые слова: эмульсионные взрывчатые вещества, сенсibilизированные гранулами пенополистирола, коэффициент вспенивания, плотность эмульсионных взрывчатых веществ.

**ОБЛІК КОЕФІЦІЄНТА ВСПІНЕННЯ ГРАНУЛ ПОЛІСТИРОЛУ
ПРИ РОЗРАХУНКУ ЩІЛЬНОСТІ ЕМУЛЬСІЙНОЇ ВИБУХОВОЇ
РЕЧОВИНИ, СЕНСИБІЛІЗОВАНИХ ЦИМИ ГРАНУЛАМИ**

І. Ю.Маслов

ТОВ «Глобал Майнінг Експлозив–Раша»

вул. Профспілкува, 3, м. Москва, Росія. E-mail: ilmaslov@mail.ru

Отримано вираз для визначення щільності емульсійних вибухових речовин з урахуванням масової частки ізопентану в суспензійному полістиролі, коефіцієнта вспінювання, відносини насипного об'єму гранул пінополістиролу до обсягу матричної емульсії при виготовленні емульсійних вибухових речовин, технології змішування емульсії з гранулами пінополістиролу і хімічного складу емульсії.

Ключові слова: емульсійні вибухові речовини, сенсibilізовані гранулами пінополістиролу, коефіцієнт спінювання, щільність емульсійних вибухових речовин.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В связи с увеличением глубины горных работ на угольных разрезах Кузбасса все большая часть вскрышных пород становится обводненными. При этом длина взрывных скважин на данных разрезах изменяется в диапазонах 10–50 м, что обусловлено принятыми системами отработки месторождений. Таким образом, применяемое взрывчатое вещество (ВВ) должно быть как водостойчивым, так и способным к стабильной детонации вертикальных зарядов длиной до 50 м. Использование для отбойки эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), сенсibilизированных газовыми пузырьками, в данных условиях приводит к значительному расходу ЭВВ, обусловленному его уплотнением в нижней части скважинного заряда из-за уменьшения размеров газовых пор от действия гидростатического давления колонки заряда ЭВВ. Помимо

этого, уплотнение ЭВВ приводит к снижению его чувствительности и затруднению протекания полноценной детонации. Таким образом, применение в длинных скважинных зарядах ЭВВ, сенсублизированных газовыми порами, ведет к необоснованным материальным затратам и не всегда обеспечивает надежность детонации этих ЭВВ. Применение ЭВВ, сенсублизированных стеклянными или пластиковыми мономикросферами ухудшает экономические показатели взрывных работ вследствие дороговизны данных сенсублизаторов. Использование в качестве сенсублизаторов микрогранул перлита или продуктов переработки зол не обеспечивает надежной детонации вследствие неконтролируемости наличия в них микрогранул со значительной открытой пористостью.

Из пористых органических веществ наибольший интерес для использования их в качестве сенсублизатора в ЭВВ представляют гранулы вспененного полистирола гранулы (пенополистирола). Данные гранулы характеризуются низкой величиной открытой пористости и, являясь продуктом устойчивого и управляемого органического синтеза, характеризуются повторяемостью внутренней структуры [1]. Кроме этого, данный материал доступен как по цене, так по стабильности поставок.

Выполненные теоретические, полигонные и опытно-промышленные работы [2–5] показали, что работоспособность ЭВВ, сенсублизированных гранулами пенополистирола, в зависимости от их химического состава, структуры гранул и матричной эмульсии, способов смешивания и плотности, изменяются в широких пределах – от дымного пороха до граммонита 79/21. Следовательно, данные ЭВВ имеют широкую область применения на открытых горных работах.

Цель работы – разработка методики расчета технологической плотности данных ЭВВ с учетом сортности исходных гранул полистирола и коэффициента их вспенивания.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Гранулы пенополистирола образуются путем нагревания гранул суспензионного вспенивающегося полистирола в пароводяной среде. Суспензионный вспенивающийся полистирол получают из эмульсии изопентана в стироле при полимеризации стирола и гранулировании полимеризующейся массы [1].

Введем обозначения:

$r_{гр}^o$, $R_{гр}$ – начальный радиус гранулы суспензионного вспенивающегося полистирола и радиус этой гранулы после вспенивания, соответственно;

$r_{пор}$ – средний радиус поры в грануле после вспенивания;

$\rho_{пс}^o$, $\rho_{ин}$ – плотность полистирола и изопентана, соответственно;

$\chi_{ин}$ – содержание изопентана в суспензионном полистироле до вспенивания («изопентанная пористость»);

$\rho_{oo}^{снс}$ – плотность вещества гранулы суспензионного вспенивающегося полистирола;

δ – средняя толщина перегородки между внутренними порами в грануле пенополистирола;

НОВІ ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

$K_{вспен.}$ – коэффициент вспенивания (отношение объема вспененной гранулы к начальному);

$k_{упак.}$ – коэффициент упаковки (отношение общего объема, занимаемого гранулами, к собственному объему гранул) при свободной засыпке вспененных гранул полистирола.

Плотность вещества гранулы суспензионного вспенивающегося полистирола в рамках принятых обозначений равна

$$\rho_{oo}^{cnc} = \chi_{un} \rho_{un} + (1 - \chi_{un}) \rho_{nc}^o. \quad (1)$$

Учитывая, что согласно исследованиям структуры гранул пенополистирола [6] в области коэффициентов вспенивания, представляющих практический интерес ($K_{вспен.} > 6$), выполняется условие $\delta \ll r_{пор}$, имеем следующее из условия сохранения массы полистирола в грануле до и после вспенивания уравнение

$$\frac{4\pi}{3} (r_{гр}^o)^3 \rho_{nc}^o (1 - \chi_{un}) \cong \frac{1}{2} \cdot 4\pi r_{пор}^2 \delta N_{пор} \rho_{nc}^o, \quad (2)$$

где $N_{пор} \cong \left(\frac{R_{гр}}{r_{пор}} \right)^3$ – количество пор в грануле. (3)

По определению $K_{вспен.} = \left(\frac{R_{гр}}{r_{гр}^o} \right)^3$. (4)

На основании (1)–(4) имеем

$$\frac{\delta}{r_{пор}} \cong \frac{2}{3K_{вспен.}} \cdot \frac{\rho_{oo}^{cnc} - \rho_{un}}{\rho_{nc}^o - \rho_{un}}. \quad (5)$$

Введем в рассмотрение насыпную плотность гранул пенополистирола ρ_{nn}^{nac} . Тогда для массы полистирола в грануле имеем следующее равенство

$$\frac{1}{2} \cdot 4\pi r_{пор}^2 \delta N_{пор} \rho_{nc}^o \cong \frac{4\pi}{3} R_{гр}^3 k_{упак.} \rho_{nn}^{nac}. \quad (6)$$

На основании (3), (6) получаем

$$\frac{\delta}{r_{пор}} \cong \frac{2}{3} \cdot \frac{k_{упак.} \rho_{nn}^{nac}}{\rho_{nc}^o}. \quad (7)$$

Из (5), (7) находим

$$\rho_{nn}^{nac} \cong \frac{\rho_{nc}^o}{k_{упак.} K_{вспен.}} \cdot \frac{\rho_{oo}^{cnc} - \rho_{un}}{\rho_{nc}^o - \rho_{un}}. \quad (8)$$

НОВІ ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Обозначим через m_o – массовую долю изопентана в суспензионном полистироле. Тогда плотность вещества гранулы суспензионного полистирола для вспенивания будет равна

$$\rho_{oo}^{cnc} = \left(\frac{m_o}{\rho_{ип}} + \frac{1 - m_o}{\rho_{пс}^o} \right)^{-1}. \quad (9)$$

Согласно (8), (9) получаем

$$\rho_{пт}^{нас} \cong \frac{\rho_{пс}^o}{k_{упак} \cdot K_{вспен.}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{m_o}{1 - m_o} \cdot \frac{\rho_{пс}^o}{\rho_{ип}}}. \quad (10)$$

Согласно [7], плотность ρ_{oo} ЭВВ, сенсibilизированного гранулами пенополистирола, равна

$$\rho_{oo} = k_{упак} \cdot \rho_{пт}^{нас} \cdot \chi_{зр} + \rho_{эм} (1 - \chi_{возд.}) (1 - \chi_{зр}), \quad (11)$$

где $\chi_{зр}$, $\chi_{возд.}$ – гранульная и воздушная пористости в эмульсии ЭВВ, соответственно; $\rho_{эм}$ – плотность матричной эмульсии.

Величина гранульной пористости равна [7]

$$\chi_{зр} = \frac{\zeta (1 - \chi_{возд.})}{k_{упак} + \zeta (1 - \chi_{возд.})}, \quad (12)$$

где ζ – отношение насыпного объема гранул пенополистирола к объему матричной эмульсии при изготовлении ЭВВ.

На основании (10) – (12) определяем плотность ЭВВ, сенсibilизированного гранулами пенополистирола

$$\rho_{oo} = \frac{1 - \chi_{возд.}}{k_{упак} + \zeta (1 - \chi_{возд.})} \left(\frac{\rho_{пс}^o \zeta}{K_{вспен.} \left(1 + \frac{m_o}{1 - m_o} \cdot \frac{\rho_{пс}^o}{\rho_{ип}} \right)} + k_{упак} \cdot \rho_{эм} \right). \quad (13)$$

Учитывая, что $\rho_{пс}^o = 1,06$ г/см³; $\rho_{ип} = 0,62$ г/см³; $k_{упак} = 1,6$, выражение упрощается:

Значение ρ_{oo} в г/см³ равно

$$\rho_{oo} = \frac{1 - \chi_{возд.}}{1 + 0,625 \zeta (1 - \chi_{возд.})} \left(\rho_{эм} + \frac{0,6625 \zeta}{K_{вспен.} \left(1 + \frac{1,613 m_o}{1 - m_o} \right)} \right). \quad (14)$$

В уравнении (14) величина m_o известна из паспорта на суспензионный полистирол, $K_{вспен.}$ задается заказчиком (производителем ЭВВ, сенсibilизированного гранулами пенополистирола), $\chi_{возд.}$ зависит от технологии смешивания эмульсии с гранулами пенополистирола [2], ζ задается взрывником-технологом, $\rho_{эм}$ определяется химическим составом эмульсии.

НОВІ ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

На рис. 1, 2 представлені залежності щільності ЭВВ, сенсибілізованого гранулами пенополістирола, від коефіцієнта вспінювання гранул суспензійного полістирола при різних значеннях ζ і $\chi_{\text{возд.}}$. При побудові вказаних залежностей вважали, що використовується матрична емульсія наступного хімічного складу: NH_4NO_3 – 75 %; H_2O – 18 %; паливна фаза – 7 % ($\rho_{\text{эм}}=1,33$ г/см³), а величина $m_0=0,07$ (відповідає показателям китайських фірм «Loyal Group» і «Wuxi Xingda»).

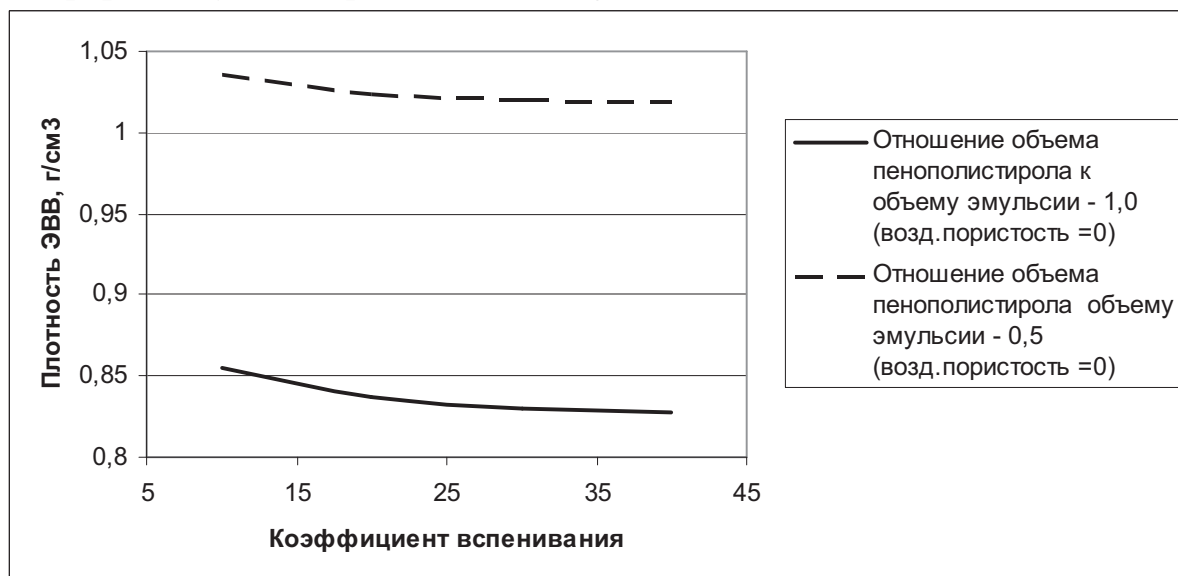


Рисунок 1 – Залежність щільності ЭВВ, сенсибілізованого гранулами пенополістирола, від величини коефіцієнта вспінювання гранул суспензійного полістирола при різних значеннях відношення насипного об'єму гранул пенополістирола до об'єму матричної емульсії

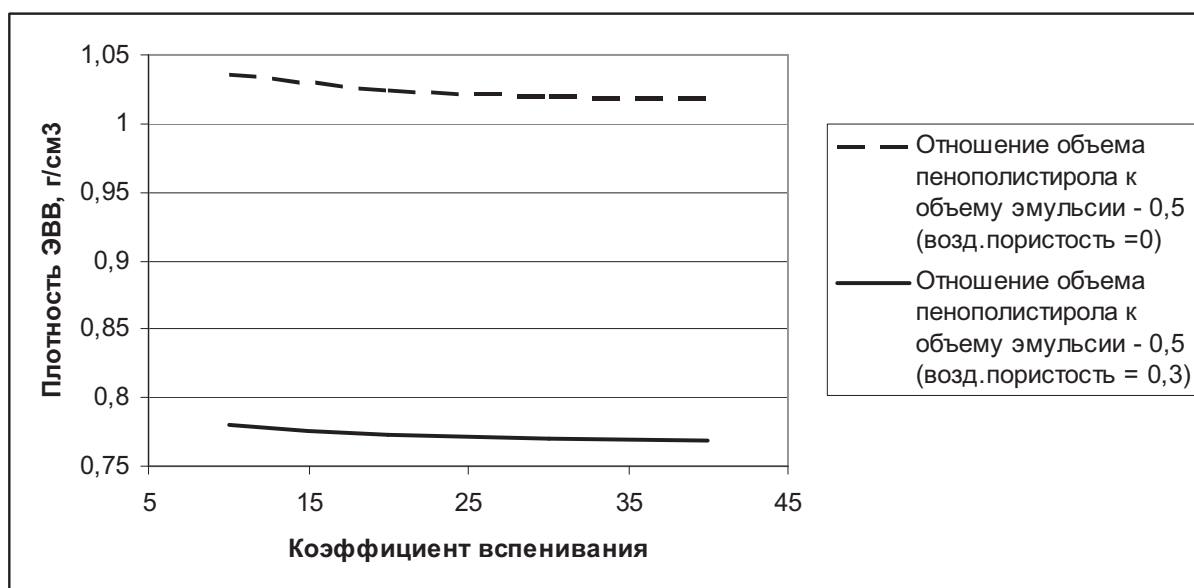


Рисунок 2 – Залежність щільності ЭВВ, сенсибілізованого гранулами пенополістирола, від величини коефіцієнта вспінювання гранул суспензійного полістирола при різних значеннях повітряної пористості

ВЫВОДЫ. На основании выполненных исследований получено выражение для определения плотности ЭВВ с учетом массовой доли изопентана в суспензионном полистироле, коэффициента вспенивания, отношения насыпного объема гранул пенополистирола к объему матричной эмульсии при изготовлении ЭВВ, технологии смешивания эмульсии с гранулами пенополистирола и химического состава эмульсии.

Полученные результаты представляют интерес как для специалистов применяющих ЭВВ, сенсibilизированные гранулами пенополистирола, так и рассматривающих возможность их применения на своих предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов В.А. Пенополистирол. – М.: Химия, 1973. – 239 с.
2. Маслов И.Ю. Разработка технологии взрывной отбойки обводненных горных пород глубокими скважинами с применением эмульсионных взрывчатых веществ на основе пенополистирола: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 25.00.20. – М.: ФГБОУ ВПО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», 2013. – 158 с.
3. Маслов И.Ю. Влияние размеров глобул эмульсии на детонационные характеристики ЭВВ при их сенсibilизации пластиковыми полимикросферами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2011. – № 12. – С. 3–9.
4. Горинов С.А., Маслов И.Ю. Влияние химического состава окислительной фазы эмульсии ЭВВ на взрывчатые характеристики при их сенсibilизации пластиковыми полимикросферами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2011. – № 12. – С. 9–16.
5. Горинов С.А., Маслов И.Ю. Особенности детонации низкоплотного эмульсионного взрывчатого вещества, сенсibilизированного легкими малопрочными гранулами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2014. – № 6. – С. 18–33.
6. Горинов С.А., Маслов И.Ю., Собина П.Е. Исследование структуры эмульпоров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2011. – № 9. – С. 3–14.
7. Маслов И.Ю. Оценка характеристической плотности эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных гранулами пенополистирола // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2014. – № 6. – С. 3–10.

**ASSUMING A RATIO OF FOAMING POLYSTYRENE BEADS
IN CALCULATING THE DENSITY EMULSION EXPLOSIVES
SENSITIZED THESE PELLETS**

I. Maslov

"Global Mining explosions-Russia"

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

The expression for determining the density emulsion explosives based on the mass fraction of isopentane slurry polystyrene foaming ratio, the bulk volume ratio to the volume of expanded polystyrene granulate emulsion matrix in the manufacture of emulsion explosives technology emulsion mixing polystyrene beads and the chemical composition of the emulsion.

Key words: emulsion explosives sensitized polystyrene beads, the ratio of foaming density emulsion explosive.

REFERENCES

1. Pavlov V.A. Expanded polystyrene. – M.: Chemistry, 1973. – 239 p.
2. Maslov I.Y. Development of technology for blasting rocks flooded deep wells with the use of emulsion explosives based on polystyrene / Diss. ... Cand. tehn. Sciences, spec. 25.00.20. – M, 2013. – 158 p.
3. Maslov I.Y. (2011) "The influence of the size of the globules of the emulsion to emulsion explosives detonation characteristics at their sensitization plastic polimikrosferami", in the book *Mountain information-analytical bulletin (scientific and technical journal)*. [Individual articles (special issue)], no 12., Russia, pp. 3–9.
4. Gorinov S.A., Maslov I.Y. (2011) "The influence of the chemical composition of the oxidative phase of the emulsion to emulsion explosives explosive performance at their sensitization plastic polimikrosferami", in the book *Mountain information-analytical bulletin (scientific and technical journal)*. [Individual articles (special issue)], no 12., Russia, pp. 9–16.
5. Gorinov S.A., Maslov I.Y. (2014) "Features detonation low density emulsion explosive sensitized light low-strength pellets", in the book *Mountain information-analytical bulletin (scientific and technical journal)*. [Individual articles (special issue)], no 6., Russia, pp. 18–33.
6. Gorinov S.A., Maslov I.Y., Sobina P.E. "Investigation of the structure emulporov", in the book *Mountain information-analytical bulletin (scientific and technical journal)*. [Individual articles (special issue)], no 9., Russia, pp. 3–14.
7. Maslov I.Y. "Estimates of the characteristic density of emulsion explosives sensitized polystyrene beads", in the book *Mountain information-analytical bulletin (scientific and technical journal)*. [Individual articles (special issue)], no 6., Russia, pp. 3–10.

Стаття надійшла 10.11.2014