

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ
ЭМУЛЬСИОННЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ ВВ
И СРЕДСТВ ИХ ИНИЦИИРОВАНИЯ**

Дано обоснование путей повышения работоспособности динамонов (ANFO, ЭВВ, гранэммитов) на 30–40 %. Рассмотрены неметаллизированные динамоны (ANFO, ЭВВ, гранэммиты), нашедшие наиболее широкое распространение при ведении горных работ во всем мире.

Ключевые слова: неметаллизированные динамоны, гранэммиты, эмульсионные и гранулированные ВВ.

В основу описания детонационного процесса рассматриваемых ВВ положена следующая схема [1–4].

ЭВВ являются пористыми телами. Распространение ударных волн в пористых средах имеет свои особенности по сравнению с распространением данных волн в однородных средах. В начальные моменты времени, под действием ударной волны интенсивностью нескольких десятков тысяч атмосфер, в среде, имеющей пористость порядка десятка процентов, происходит изменение плотности среды преимущественно за счет втекания ее в поры. В этот период саму среду можно рассматривать как несжимаемую [5–7].

Согласно данным [8–10] величина детонационного давления в ЭВВ (гранэммитах) ~ 10 ГПа, а сами ЭВВ (гранэммиты) имеют пористость ~ 15–25 % (соответственно ANFO – давление ~ 3 ГПа, пористость ~ 35–50 %). Данное давление не вызывает мгновенного разложения вещества ВВ. В моменты времени до начала разложения данное вещество можно рассматривать как инертное [11]. Поэтому в начальный период под действием детонационной волны происходит втекание вещества ЭВВ в поры. В соответствии с теорией «горячих точек» в процессе втекания происходит локальный разогрев ВВ, его возгорание, что приводит к развитию детонационного процесса. При втекании среда приобретает количество движения в направлении распространения детонационной

волны. Это приводит к тому, что среда приобретает дополнительную скорость движения. Процессы взрывчатого разложения будут происходить уже в движущейся среде. Величина данного дополнительного количества движения определяется величиной промежутка времени между моментом подхода фронта детонационной волны к поре и моментом времени, соответствующему началу разложения. Чем меньше данный промежуток времени, тем меньше величина скорости движения среды в момент ее детонационного разложения. Поэтому в индивидуальных ВВ, характеризующихся высокой чувствительностью, данное приращение скорости мало и среду в момент разложения считают неподвижной [11–13]. Однако для ВВ с относительно низкой чувствительностью данное приращение скорости может быть весьма существенным (сотни метров в секунду) [1]. Вследствие вышесказанного, P - V диаграмма динамонов будет иметь характерный вид, указанный на рис. 1.

Участок OA характеризует процесс втекания среды в поры. На данном участке ВВ приобретает дополнительную скорость движения. Точка A соответствует моменту начала экзотермической реакции ВВ в поре (или на поверхности поры). В порах среды возникает противодавление, среда начинает воспринимать нагрузку как непористое вещество [14]. В ней резко возрастает давление (по закону ударной адиабаты). Данный процесс описывается участком AC . Одновременно начинается происходить разложение ВВ из центров «горячих точек» в радиальном направлении. В точке C происходит слияние сфер горения. Далее изменение давления происходит по отрезку CM , принадлежащему прямой Михельсона CA . Точка M (т. Чепмена-Жуге) соответствует точке касания прямой CA с кривой LN , описывающей расширение продуктов детонации. Из рис. 1 видно, что при уменьшении величины V_o ордината точки M увеличивается, а при увеличении соответственно уменьшается. Таким образом, детонационные характеристики рассматриваемых ВВ существенным образом зависят от плотности ВВ ρ_o в момент начала взрывчатого разложения в порах.

Согласно [1–4] скорость детонации D и давление в т. Чепмена-Жуге P_* определяется выражением:

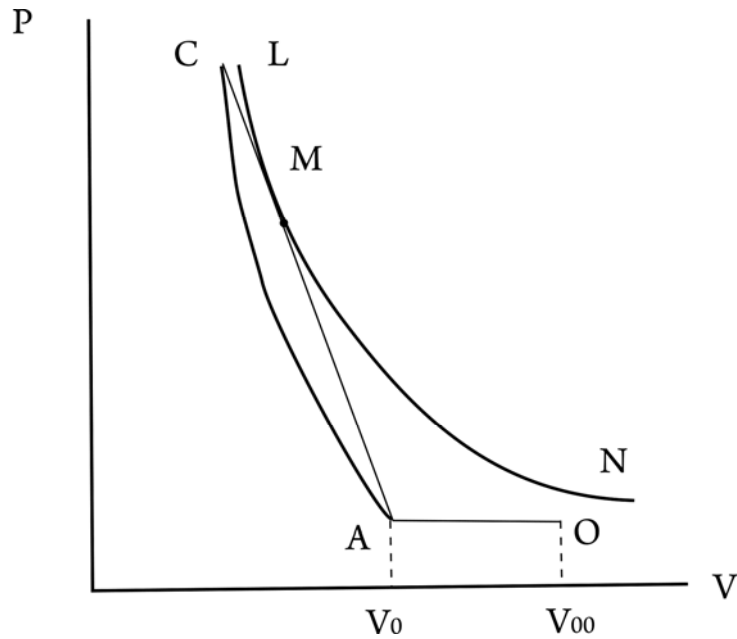


Рис. 1. *P-V* диаграмма динамонов: V_{00} – начальный удельный объем ВВ; V_0 – удельный объем в точке старта

$$D^2 = \frac{2(k+1)Q_v}{\bar{c} \left(1 - \frac{k+1}{k} \alpha \rho_0^{z_{az}}\right) \left(1 - \sum_j \beta_j\right)}, \quad (1)$$

$$P_* = \frac{\rho_0^{z_{az}}}{k+1} D^2, \quad (2)$$

$$\text{где } \rho_0^{z_{az}} = \rho_0 \left(1 - \sum_i \beta_i\right) \left(1 - \rho_0 \sum_i \frac{\beta_i}{\rho_i}\right)^{-1}, \quad (3)$$

$\alpha_{i(j)}$ – коэффциент $i(j)$ – вещества; Q_v – теплота взрыва; β_i – массовая доля i -твердого вещества в продуктах взрыва; ρ_i – плотность i -твердого вещества в продуктах взрыва; \bar{c} – отношение средней мольной теплоемкости продуктов детонации при температуре взрыва к универсальной газовой постоянной.

В случае ЭВВ и гранэммитов величина ρ_0 определяется из уравнения [2-4]:

$$\rho_0 = z\rho_{00} + (1-z)\rho_*, \quad (4)$$

где ρ_{00} – начальная плотность ВВ; ρ_0 – плотность ВВ беспоровая; z – отношение пористости ВВ в момент начала взрывного разложения к начальной пористости.

Для ЭВВ z определяется из уравнения:

$$z_3 = \left[1 - \frac{\chi_3^0 D_* + \sqrt{\frac{2P_f}{3\rho_*} \left(\frac{1}{z_3} - 1 \right)}}{R_0} \frac{\pi \Delta T^2 \lambda_c C_c}{\mu^2 \rho_c \left(\frac{1}{2} \chi_3^0 D_* + \sqrt{\frac{2P_f}{3\rho_*} \left(\frac{1}{z_3} - 1 \right)} \right)^6} \left(\frac{R_0}{\Delta} \right)^6 \right]^3 \quad (5)$$

где R_0 – радиус газовой поры, Δ – размер частиц эмульсии; P_f – величина фронтального давления детонационной волны; ρ_c , λ_c , C_c – плотность, коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость аммиачной селитры соответственно; μ – внутренний коэффициент трения аммиачной селитры; ρ_3 – плотность матрицы ЭВВ, входящего в состав гранэммита; χ_3^0 – начальная пористость эмульсионной составляющей ВВ; ΔT – подъем температуры ЭВВ вследствие трения, необходимый для начала реакции взрывного горения.

Величина ΔT определяется, исходя из уравнения:

$$\Delta T = \left(T_* + \frac{w_1 L_1 + w_2 L_2}{c_3} \right) (1 + k_\varepsilon) - T_o \left(1 + k_\varepsilon \frac{T_u}{T_o} \right). \quad (6)$$

где $T_* = 523$ К (температура начала автокаталитической реакции разложения аммиачной селитры [10]); w_1 и w_2 – удельные площади пленок воды и аммиачной селитры на поверхностях трещин сдвига соответственно; L_1 и L_2 – удельные теплоты парообразования воды и разложение аммиачной селитры соответственно; k_ε – коэффициент термоактивности:

$$k_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\lambda_1 c_1 \rho_1}{\lambda_3 c_3 \rho_3}}, \quad (7)$$

λ_1, c_1, ρ_1 – коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность газов в пузырьке (в ударной волне); λ_3, c_3, ρ_3 – коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность эмульсии).

$$T_u = \frac{8(\gamma_1 - 1) \mu_1}{(\gamma_1 + 1)^2} \frac{1}{R} (W - U)^2, \quad (8)$$

где R – универсальная газовая постоянная; W – массовая скорость вещества ВВ за фронтом ударной волны, U – приращения массовой скорости [2] (γ_1, μ_1 – коэффициент адиабаты, средний молекулярный вес газов пузырька соответственно); величина ρ_1 равна: $\rho_1 = \rho_1^o \frac{\gamma_1 + 1}{\gamma_1 - 1}$ (ρ_1^o – начальная плотность газов в пузырьке).

В случае гранэмитов [2], при определении z необходимо дополнительно учитывать сжимаемость гранул селитры.

В случае ANFO происходит дробление гранул аммиачной селитры во фронте детонационной волны. Образовавшиеся частички селитры втекают в межгранульное пространство. Возгорание селитры, служащее началом взрывчатого разложения вещества, происходит вследствие ее разогрева из-за трения частичек друг о друга и дополнительным нагревом их поверхностей теплом адиабатически сжатого в межгранульном пространстве газа. В данном случае, величина «эффективной» поры согласно А.Ф. Беляеву [15] будет равна:

$$R_o^* = \frac{m}{3(1-m)} \delta, \quad (9)$$

где δ – размер гранулы аммиачной селитры; $m = 1 - \frac{\rho_{oo}}{\rho_c (1 - \chi_o)}$ – межгранульная пористость; χ_o – пористость гранулы аммиачной селитры.

В соответствии с [16] можно положить, что размер частицы селитры при ее дроблении будет равен

$$\Delta^* = \frac{w}{\chi_{oo}} \delta, \quad (10)$$

где w – коэффициент нарушенности гранулы аммиачной селитры ($w = 0,005-0,007$).

Подставляя значения (10), (11) в (5), можно определить z для ANFO. Последнее позволяет определить все детонационные характеристики ANFO. При этом при составлении химических реакций первичного разложения (для межпорового прогорания принята схема Баума [11]) и окончательного разложения (схема Бринкли-Вильсона [11]) необходимо учитывать поглощающую способность гранулы аммиачной селитры.

Величина коэффициента поглощения $k_{погл}$ (отношение поглощенной массы жидкого топлива к всей массе топлива) согласно исследованиям [17] определяется из уравнения:

$$k_{погл} = \frac{k_{откр} \chi_{oo} \rho_m}{\rho_c (1 - \chi_{oo}) g_*} \frac{1}{1 + \frac{P_a k_{откр} \chi_{oo}}{\sigma_n \cos \vartheta \xi \rho_c (1 - \chi_{oo})}}, \quad (11)$$

где $k_{откр}$ – коэффициент открытой пористости (отношение доступного для заполнения жидким топливом объема пор гранулы к их общему объему); ρ_m – плотность жидкого топлива; σ_n – поверхностное натяжение топлива; ξ – удельная поверхность аммиачной селитры; P_a – атмосферное давление; ϑ – краевой угол; g_* – отношение массы жидкого топлива к массе аммиачной селитры при их смешении в стехиометрическом соотношении.

При сенсбилизации ЭВВ стеклянными микросферами предложенная выше методика определения ρ_o неприменима, т.к. при ударе детонационной волны о стеклянную оболочку в ВВ возникают не волны разряжения (случай газовых пор), а волны сжатия (до момента разрушения оболочки). В этом случае наблюдается воспламенение ВВ по механизму Мадера [18] (вследствие гидро-

динамического удара происходит адиабатический нагрев ВВ, которое вспыхивает сразу после разрушения стеклянной оболочки).

Математическое описание феноменологических зависимостей, вытекающих из закона сохранения энергии и импульса, остается прежним, т.к. вещество ВВ по-прежнему получает дополнительное количество движения при заполнении пор. Однако при определении ρ_o необходимо учитывать сжимаемость матричного ВВ и время разрушения стеклянной оболочки. Согласно оценочным расчетами (сжимаемость матричного ЭВВ считаем близкой к сжимаемости воды [11]):

$$\rho_o \approx \rho_{oo} \left[1 + 3\beta \chi_o^{1/3} (1 + \chi_o^{1/3}) \frac{\rho_{cf}^o}{\rho_{cm}^o} \right], \quad (12)$$

где $\beta_{кач} = \frac{h_{cm}^{\min}}{\langle h_{cm} \rangle}$ – коэффициент качества микросферы; h_{cm}^{\min} – ми-

нимальная толщина оболочки; $\langle h_{cm} \rangle = \frac{\rho_{cf}^o}{3\rho_{cm}^o} R_o$ – средняя толщина

стенки (оболочки) микросферы; χ_{oo} – начальная пористость ЭВВ;

ρ_{cf}^o, ρ_{cm}^o – истинная плотность микросфер и плотность стекла, соответственно.

Из (12) следует, что ρ_o не зависит от R_o . Следовательно, оптимального размера стеклянных микросфер не существует. Это объясняет неудачность многочисленных попыток его определения [9]. Однако в связи с тем, что рассматриваемая полость должна играть роль «горячей точки», на величину R_o налагаются следующие ограничения

$$\frac{8,4\mu_\omega}{\sqrt{\rho_\omega P_f}} \leq R_o \leq \frac{d_{зар} V_{гор} (k+1)}{\left[\left(\frac{\pi}{6\chi_o} \right)^{1/3} - 1 \right] D(2k+1)}, \quad (13)$$

где ρ_ω, μ_ω – плотность и вязкость эмульсии, соответственно; $d_{зар}$ – диаметр заряда; $V_{гор}$ – скорость межпорового прогорания; k – коэффициент политропы ЭВВ.

Нижний предел неравенства (14) определяется условиями возможности схлопывания поры [20, 21], а верхний – условием эффективной детонации ЭВВ [22]. Оценочные расчеты на основании (13) и данных [9, 22, 23] показывают, что при изменении пористости ЭВВ в пределах 0,15–0,25 в качестве оценочных можно принять следующие ограничения на радиус стеклянной микросферы: при $d_{zap} = 25 \text{ мм} - 5 \text{ мкм} < R_o < 35 \text{ мкм}$; при $d_{zap} = 36 \text{ мм} - 5 \text{ мкм} < R_o < 50 \text{ мкм}$.

Зависимость скорости детонации ЭВВ от размера стеклянных микросфер для без оболочечных зарядов небольшого диаметра, отмеченная в [9, 10], объясняется особенностью распространения ударных воздушных волн и их взаимодействием с непрореагировавшей частью заряда при распространении в нем детонации.

Необходимый нагрев ЭВВ вследствие гидродинамического удара будет происходить в случае выполнения следующего условия:

$$\frac{\beta_{кач} \rho_{сф}^o}{\rho_{ст}} \geq \frac{0,08}{(1 - \chi_o)(\chi_o^{1/3} + \chi_o^{2/3})} \frac{c_p \Delta T_* + Q_{испар}}{Q_v}, \quad (14)$$

где $\Delta T_* = T_* - T_o$ (T_o – начальная температура ВВ); $Q_{испар}$ – теплота испарения ВВ.

Оценки показывают, что правая часть неравенства (14) при $\chi_o = 0,15-0,25$ примерно равна 0,034. Т.к. плотность стекла величина практически постоянная, то в качестве критерия качества стеклянных микросфер можно использовать условие:

$$\beta_{кач} \rho_{сф}^o > 85. \quad (15)$$

В случае, если (15) не выполняется, расчет z выполняется по первому варианту с учетом поправок на начальную температуру ЭВВ.

При расчете детонационных параметров ЭВВ (гранэмитов), сенсibiliзированных пластиковыми микросферами (полимикросферами-пенопласт и т.п.), необходимо учитывать, что сжимаемости матричного ВВ и материала оболочек близки друг у другу.

Поэтому эффект адиабатического нагрева ЭВВ вследствие гидродинамического удара не наблюдается. Расчет детонационных параметров ВВ производится по первому варианту. Однако при вычислении ΔT величина T_* определяется температурой термодеструкции материала оболочки, т.к. разрушение оболочки сопровождается термопластическими явлениями ($T_* \approx 600$ К).

Данное обстоятельство выдвигает повышенные требования к инициирующему импульсу по сравнению с сенсibilизацией равноразмерными газовыми пузырьками. Однако это одновременно обуславливает увеличение детонационных характеристик ЭВВ.

Применимость данного подхода к определению подхода к определению детонационных параметров ЭВВ и гранэмитов обсуждалась в работах [2–4].

Рассмотрим возможность определения детонационных параметров ANFO. В табл. 1 представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных [19].

В соответствии с [19] принимались следующие характеристики аммиачной селитры: $\chi_{00} = 0,17$, $k_{откр} = 0,4$, $\delta = 2$ мм.

Наблюдается хорошее (в пределах точности эксперимента ~ 4 %) согласие расчетных и экспериментальных данных.

Таблица 1

Сравнение экспериментальной и расчетной скорости детонации ANFO

ВВ	Плотность, г/дм ³	Диаметр заряда, см	Условия проведения опыта	Экспериментальная скорость детонации, км/с	Расчетная скорость детонации, км/с
Смесь АС+ДТ	0,82	12,7	бумажная оболочка	2,77	2,65
	0,82	12,7	стальная труба, толщина стенок 9,5 мм	3,93	3,85
	0,82	12,7	массив	3,56	3,41
	0,82	25,2	массив	4,02	3,85

Дополнительно, для игданитов необходимо отметить, что расчеты на основании (10), (11) показывают, что при плотности заряжания $\rho_{00} > 1,19 \div 1,25$, величина $R_o^* / \Delta^* \leq 4 \div 5$. Это приводит к расклиниванию частиц аммиачной селитры Δ^* при их втекании в межгранульное пространство. Необходимо разрушать данные частицы. Однако вследствие иерархической структуры дефектов среды [16] для осуществления этого необходимо увеличение фронтального давления P_f по крайней мере на порядок (до давления несколько десятков ГПа), что невозможно по энергетическим соображениям. Разогрева не происходит. Реакция обрывается. Необходимо отметить, что энергетический запрет на реакции взрывчатого разложения ANFO при плотностях $\rho_{00} > 1,2 \text{ г/см}^3$ отмечен также М. Куком [19] (на основе термодинамических соображений).

Из приведенных соображений понятно основное назначение воды в ЭВВ – под действием химических сил взаимодействия воды и селитры в условиях малого количества воды происходит не растворение селитры с диспергированием ее вещества на атомы (ионы), а только «дробление» селитры [23]. Размер получившихся в окислительной фазе ЭВВ частичек селитры начинает составлять несколько десятков нанометров. Это позволяет осуществлять детонацию ЭВВ, несмотря на охлаждающее действие воды, при плотностях $> 1,2 \text{ г/см}^3$ даже при существенно меньших размерах пор, так как эффекта расклинивания наночастиц селитры не происходит. Дополнительно, прослойки воды между наночастицами аммиачной селитры облегчают взаимное перемещение этих частиц, придавая окислительной фазе ЭВВ свойство текучести.

Для выявления путей повышения эффективности динамонов было осуществлено численное моделирование детонационных процессов. Изучалось влияние следующих технологических параметров:

- химический состав ВВ;
- плотность заряжания;
- вид сенсibilизации;
- размер и пористость гранул аммиачной селитры, а также величина коэффициента открытости пор;

- размер сенсibiliзирующих пор и размер частиц эмульсии;
- промежуточный детонатор (химический состав, плотность, геометрические размеры) [22];
- капсуль-детонатор (для ЭВВ сенсibiliзированных стеклянными микросферами).
- устойчивость детонационного процесса по длине скважинного заряда при нижнем инициировании для ЭВВ и гранэмитов, сенсibiliзированных газовыми порами.

Некоторые результаты исследований, позволяющие обосновать основные пути дальнейшего совершенствования динамонов приведены на рис. 2–9.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 2–9, показывает, что к существенному повышению эффективности динамонов могут привести только комплексные меры, включающие в себя:

- в случае гранэмитов – применение эмульсии с мелкими глобулами, микропористой аммиачной селитры с увеличенным коэффициентом открытости пор и мощными промежуточными детонаторам;
- в случае ANFO – микропористой аммиачной селитры с увеличенным коэффициентом открытости пор;
- в случае патронированных ЭВВ – эмульсии с мелкими глобулами и высококачественных стеклянных микросфер в сочетании с капсулем-детонатором повышенной мощности;
- для ЭВВ, сенсibiliзированных пластиковыми микросферами (полимикросферами) безусловное использование мощных промежуточных детонаторов.

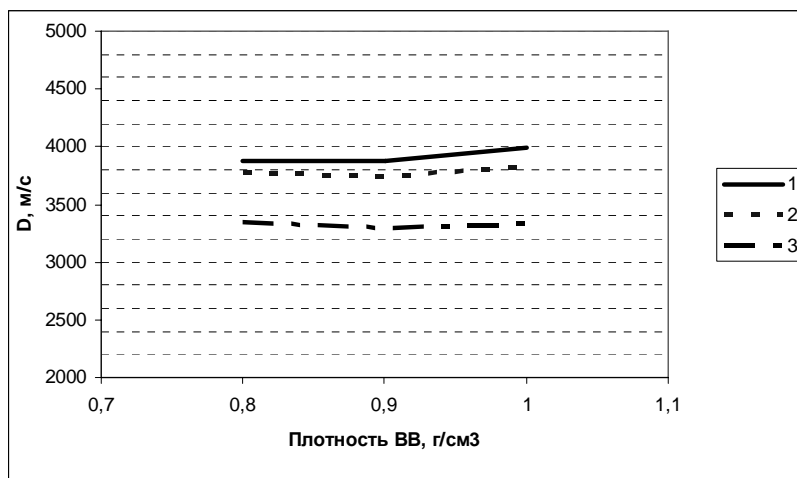


Рис. 2. Зависимость скорости детонации ANFO от плотности и наличия стекания жидкого топлива при различных $k_{откр}$ ($\chi_{00} = 0,17$, $\delta = 1,7$ мм): 1 – без стекания; 2 – со стеканием $k_{откр} = 0,8$; 3 – $k_{откр} = 0,4$

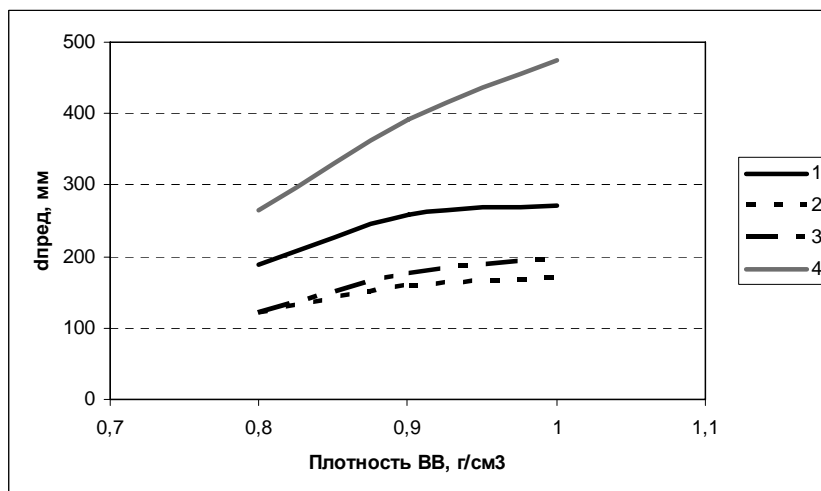


Рис. 3. Зависимость предельного диаметра ANFO от плотности и наличия стекания жидкого топлива при различных $k_{откр}$ ($\chi_{00} = 0,17$, $\delta = 1,7$ мм): 1 – без стекания $k_{откр} = 0,4$; 2 – без стекания $k_{откр} = 0,8$; 3 – со стеканием $k_{откр} = 0,8$; 4 – со стеканием $k_{откр} = 0,4$



Рис. 3. Зависимость предельного диаметра заряда эмульсии типа Украинита ПП-2 от плотности ($\Delta = 4$ мкм, $P_{\text{внешн}} = 2,5$ атм)

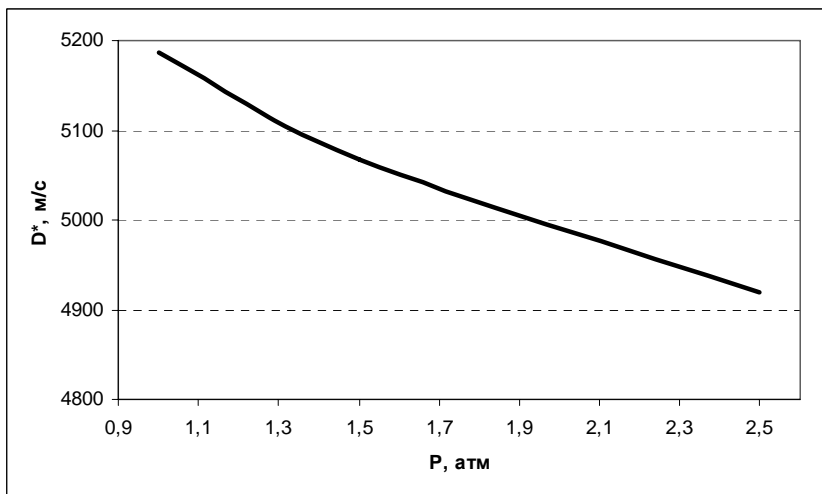


Рис. 4. Зависимость скорости детонации эмульсии типа Украинита ПП-2 от внешнего давления ($\Delta = 4$ мкм, $\rho_{00} = 1,189$ г/см³)

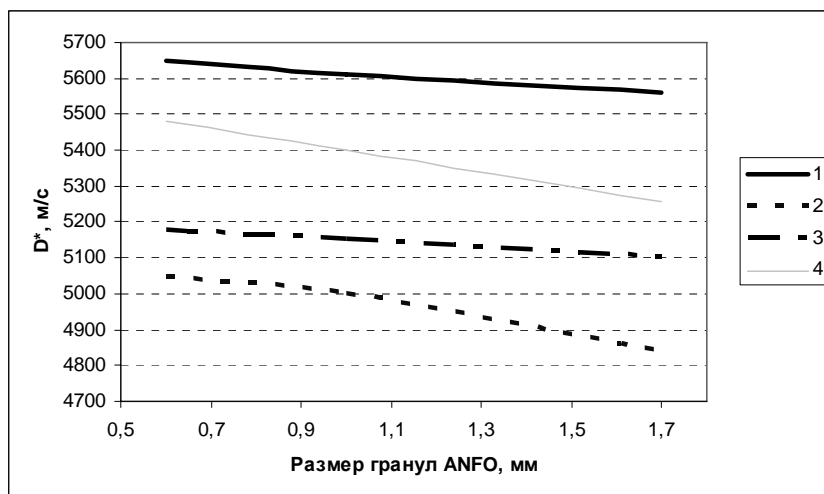


Рис. 5. Зависимость скорости детонации гранэмита типа И-30 от размера гранул аммиачной селитры и коэффициента открытости пор при различных размерах глобул эмульсии ($\chi_{00} = 0,18$, $P_{\text{внешн}} = 2,5$ атм, $\rho_{00} = 1,25$): 1 – $k_{\text{откр}} = 0,8$ и $\Delta = 4$ мкм; 2 – $k_{\text{откр}} = 0,4$ и $\Delta = 8$ мкм; 3 – $k_{\text{откр}} = 0,8$ и $\Delta = 8$ мкм; 4 – $k_{\text{откр}} = 0,4$ и $\Delta = 4$ мкм

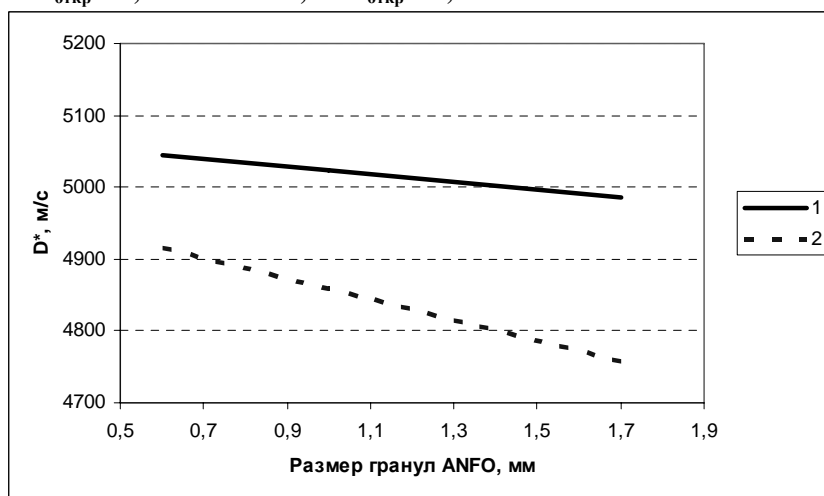


Рис. 6. Зависимость скорости детонации гранэмита типа И-30 от размера гранул аммиачной селитры при различных коэффициентах открытости пор ($\chi_{00} = 0,18$, $P_{\text{внешн}} = 1,5$ атм, $\rho_{00} = 1,18$, $\Delta = 8$ мкм): 1 – $k_{\text{откр}} = 0,8$; 2 – $k_{\text{откр}} = 0,4$

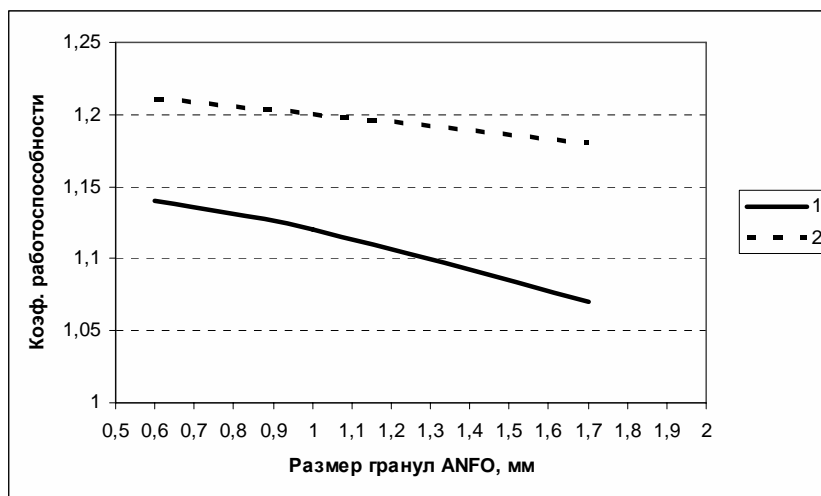


Рис. 7. Зависимость коэффициента работоспособности по Шведову К.К. гранэмита типа И-30 относительно аммонита 6ЖВ (плотн. 1 г/см³) от размера гранул АС при различных коэффициентах открытости пор ($\chi_{00} = 0,18$, $P_{\text{внешн}} = 1,5$ атм, $\rho_{00} = 1,18$, $\Delta = 8$ мкм): 1 – $k_{\text{откр}} = 0,4$; 2 – $k_{\text{откр}} = 0,8$

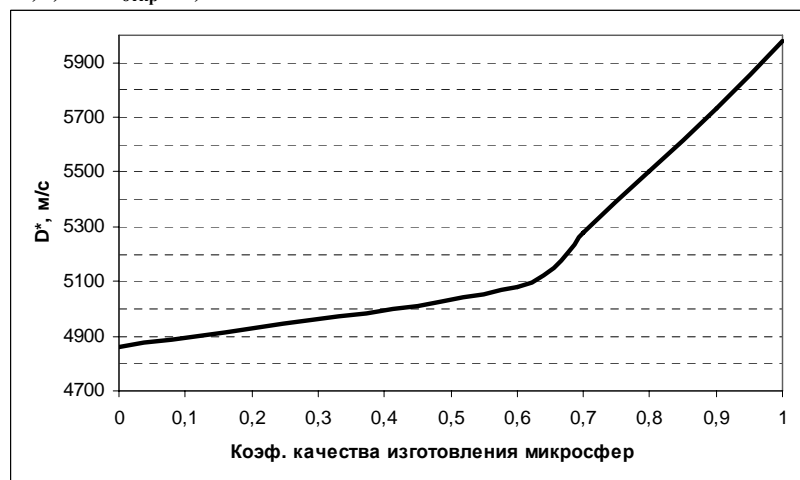


Рис. 8. Влияние коэффициента качества изготовления стеклянных микросфер на скорость детонации ЭВВ (АС – 75 %, СаС – 15 %, Н₂О – 10 %, топл. фаза – 7 %, SiO₂ – 3,3 %, $\rho_{\text{сф}} = 1,18$ кг/м³, $R_0 = 40$ мкм)

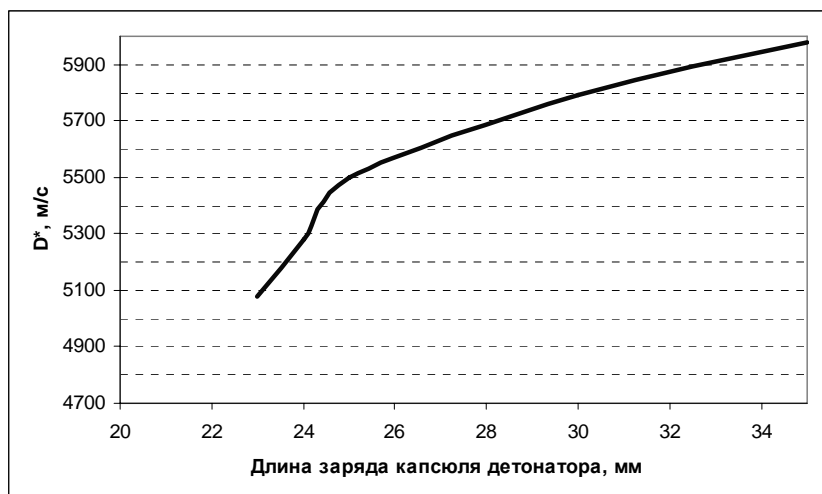


Рис. 9. Зависимость достигаемой скорости детонации от активной длины заряда капсуля детонатора (состав ЭВВ приведен на рис. 8, ВВ заряда – гексоген плотностью 1,72 г/см³)

Дополнительно следует отметить, что при рассмотрении устойчивости распространения детонации по длине вертикального (наклонного) скважинного заряда при нижнем инициировании для ЭВВ и гранэмитов, сенсбилизированных газовыми порами, может наблюдаться явление снижения скорости детонации. Причиной данного явления служит изменение структуры данных ВВ, обусловленное увеличением размеров газовых пор при снижении гидростатического давления по мере удаления от места инициирования. Для ликвидации негативных последствий данного явления рекомендуется встречное или многоточечное инициирование.

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования показали, что эффективность динамонов можно поднять на 30–40 %. Для решения данного вопроса необходимы комплексные меры.

1. Необходимы технологии, позволяющие увеличить коэффициент открытости пор в гранулах аммиачной селитры. Только это на 15–20 % позволит увеличить эффективность взрывных работ.

2. Внедрять эффективные эмульгаторы. Снижение размеров частиц эмульсии с 8 мкм до 4 мкм также на 15–20 % позволяет увеличить работоспособность ЭВВ.

3. Повысить коэффициент качества изготовления стеклянных микросфер. Возможное повышение эффективности патронированных ЭВВ – 25 %.

4. Учитывая низкую газовость ЭВВ по сравнению с гранэмитами, необходимо рассматривать данные ВВ, как одни из основных при ведении взрывных работ на глубоких горизонтах. Так как в данных условиях возникает необходимость ведения отбойки сдвоенными или строенными уступами, то во избежание вредного действия давления столба ВВ на газовые поры в нижней части скважины, необходимо рассмотреть возможность сенсбилизации ЭВВ пластиковыми микросферами (полимикросферами).

5. При возбуждении ЭВВ и гранэммитов, сенсбилизированных газовыми порами, целесообразно использовать встречное или многоточечное инициирование.

6. Все перечисленные выше меры повышения эффективности динамонов возможны лишь на фоне увеличения мощности промежуточных детонаторов и капсулей-детонаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кутузов Б.Н., Горинов С.А.* Расчет детонационных параметров аммиачно-селитренных ВВ // ГИАБ, 2010, № 6, С. 40–49.

2. *Горинов С.А.* Теоретическая оценка детонационных параметров гранэммитов // ГИАБ, 2010, № 8, С. 121–130.

3. *Горинов С.А., Куприн В.П., Коваленко И.Л.* Оценка детонационной способности эмульсионных взрывчатых веществ // В кн.: Высоко-

энергетическая обработка материалов. – Днепропетровск: Арт-пресс, 2009. – с. 18–26.

4. *Влияние* химической природы окислителя на детонационные характеристики ЭВВ. Горинов С.А., Куприн В.П., Коваленко И.Л., Собина Е.П. // В кн.: Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле. III Уральский горно-промышленный форум. – Екатеринбург, 2010. – С. 191–201.

5. *Кедринский В.К.* Гидродинамика взрыва // ПМТФ, 1987, № 4, с. 23–48.

6. *Дунин С.З., Сурков В.В.* Динамика закрытия пор во фронте ударной волны // ПММ, 1979, Т.43. – с. 511–518.

7. *Carroll M.M., Holt A.C.* Static and dynamic pore-collapse relation for ductile porous materials // J. Appl. Phys. 1972. V. 43. № 4. – pt. 1. – P. 1626–1636.

8. *Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И.* Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1988. – 358 с.

9. *Колганов Е.В., Соснин В.А.* Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. (Составы и свойства). Дзержинск Нижегородской области, изд. ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 592 с.

10. *Ксюганг В.* Эмульсионные взрывчатые вещества. М. – Красноармейск, 2002. – 380 с.

11. *Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И.* Физика взрыва. – М.: Физматгиз, 1959. – 800 с.

12. *Юханссон К., Персон П.* Детонация взрывчатых веществ. – М.: Мир, 1973. – 352 с.

13. *Дубовик А.В., Боболев В.К.* Чувствительность жидких взрывчатых систем к удару. – М.: Наука, 1978. – 232 с.

14. *Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. – М.: Наука, 1966. – 688 с.

15. *Страковский Л.Г., Орлов А.А.* О предельных условиях образования очага воспламенения за счет сжатия воздушных включений при инициировании // ФГВ, 1988, № 2. – С. 78–83.

16. *Садовский М.А.* Естественная кусковатость горной породы. // ДАН СССР, 1979. – Т. 247, № 4. – с. 829–831.

17. *Собина Е.П.* Влияние физико-химических факторов на спектры диффузного отражения в ближней инфракрасной области влагосодержащих порошкообразных веществ // кандидатская диссертация, Екатеринбург, 2009. – 156 с.

18. *C. Mader*. Shock and hot initiation of homogeneous explosives. // Phys. Fluids. 1963. V.6. – № 3. – P. 375–383.
19. *Кук М.А.* Наука о промышленных ВВ. – М.: Недра, 1980. – 453 с.
20. *Забабахин Е.И.* Заполнение пузырьков в вязкой жидкости // ПММ, 1960, – т. 24, вып. 6, с. 1129–1131.
21. *Григорьев Н.А., Доронин Г.С., Одинокий В.Л.* Действие импульса давления на полость в вязкой жидкости // ПМТФ, 1978, № 2, с. 86–88.
22. *Курузов Б.Н., Горинов С.А.* Инициирование эмульсионных ВВ и гранэмитов промежуточными детонаторами // ГИАБ № 7, 2011.
23. *Горинов С.А., Курузов Б.Н., Собина Е.П.* Структура окислительной фазы эмульсионных взрывчатых веществ // ГИАБ № 7, 2011.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Курузов Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор Московского государственного горного университета, Москва, bogiskutuzov@mail.ru

Горинов Сергей Александрович – кандидат технических наук, старший научных сотрудник Института горного дела УрО РАН, Екатеринбург, akaz2006@yandex.ru