

С.А. ГОРИНОВ
И.Ю. МАСЛОВ
П.А. БРАГИН

ИНИЦИИРОВАНИЕ
ЭМУЛЬСИОННЫХ
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ,
СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ
ГАЗОВЫМИ ПОРАМИ,
ЛИНЕЙНЫМ
ЭМУЛЬСИОННЫМ
ПРОМЕЖУТОЧНЫМ
ДЕТОНАТОРОМ

ГОРНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКИЙ
БЮЛЛЕТЕНЬ № 5
СПЕЦИАЛЬНЫЙ
ВЫПУСК 16



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ГОРНАЯ КНИГА»

С.А. Горинов
И.Ю. Маслов
П.А. Брагин

**ИНИЦИИРОВАНИЕ
ЭМУЛЬСИОННЫХ
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ,
СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ
ГАЗОВЫМИ ПОРАМИ,
ЛИНЕЙНЫМ
ЭМУЛЬСИОННЫМ
ПРОМЕЖУТОЧНЫМ
ДЕТОНАТОРОМ**

**ГОРНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКИЙ
БЮЛЛЕТЕНЬ № 5
СПЕЦИАЛЬНЫЙ
ВЫПУСК 16**

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ГОРНАЯ КНИГА»
2016



Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253-03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.014367.12.15

Горин С.А., Маслов И.Ю., Брагин П.А.

Иницирование эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных газовыми порами, линейным эмульсионным промежуточным детонатором. Отдельная статья: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2016. — № 5 (специальный выпуск 16). — 24 с. — М.: Издательство «Горная книга»

ISSN 0236-1493

Осуществлена оценка условий возбуждения устойчивой детонации в эмульсионных взрывчатых веществах (ЭВВ), сенсibilизированных газовыми порами, под действием линейного промежуточного детонатора, не содержащего в своем составе индивидуальных бризантных ВВ, с учетом структуры и химического состава ЭВВ, а также кинетики детонационного процесса. Показано, что при скользящем ударе продуктов детонации, образующихся при взрыве линейного эмульсионного ПД, по окружающему ПД иницирующему ЭВВ, в последнем может быть возбуждена только малоустойчивая недолгая детонация. Для возбуждения устойчивой детонации необходимо использовать: эффект усиления давления в отраженных волнах (от стенок скважин или от специально введенных твердых объектов); возрастание давления в области взаимодействия с ударными волнами, вызванными другими ПД (использованием сближенных многозарядных систем возбуждения); системы иницирования на основе кумуляции энергии ПД. Полученные результаты представляются полезными при проектировании и применении линейных ПД.

Ключевые слова: промежуточный детонатор, эмульсионные ВВ, устойчивая детонация.

УДК 662.235

ISSN 0236-1493

© С.А. Горин, И.Ю. Маслов,
П.А. Брагин, 2016
© Издательство «Горная книга», 2016
© Дизайн книги. Издательство
«Горная книга», 2016

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Практика ведения взрывных работ на карьерах с использованием наливных эмульсионных взрывчатых веществах

(ЭВВ), сенсibilизированных газовыми порами, выявляет тенденцию к применению все более мощных промежуточных детонаторов (ПД). Это объясняется стремлением избежать возникновения режимов низкоскоростного взрывчатого разложения ЭВВ, при которых снижается эффективность и безопасность взрывных работ, но повышается выброс ядовитых газов в атмосферу [1–3].

Для снижения массы ПД при иницировании наливных ЭВВ, сенсibilизированных газовыми порами, предлагается использовать удлиненные ПД (УДП) [2,4–6]. Однако методики расчета основных геометрических параметров УДП, изложенные в данных работах, не учитывают влияния структуры и химического состава ЭВВ на характер развития детонационных процессов в рассматриваемых ВВ, отмеченные в [7–10].

Данное обстоятельство делает обоснование области применения УДП весьма продолжительной и дорогостоящей операцией, т.к. осуществляется в процессе дорогостоящих полигонных и опытно-промышленных опытов. Задача осложняется в связи с желанием использовать для иницирования наливных ЭВВ промежуточных детонаторов, изготовленных из ЭВВ, чувствительных к капсулю-детонатору [11–13]. Последнее связано с тем, что бризантность ЭВВ, чувствительных к капсулю-детонатору, существенно ниже бризантности, как промышленных иницирующих ВВ (тротил, пентолит и т.д.), так и конверсионных ВВ.

В работе [14] представлено решение задачи о возбуждении детонации в эмульсионных взрывчатых веществах, сенсibilизированных газовыми порами, под действием скользящей детонационной волны, с учетом структуры, химического состава ЭВВ и кинетики детонационного процесса. Однако в указанной работе описано возбуждение детонации Чепмена-Жуге, но не рассмотрено возбуждение перескатых режимов детонации, играющих важную роль в создании условий для прохождения полноценной детонации по всей длине вертикального (наклонного) колонкового заряда ЭВВ [15–19].

В настоящей работе осуществлена оценка условий возбуждения детонации (включая перескачатый режим) в эмульсионных взрывчатых веществах, сенсibilизированных газовыми порами, под действием линейного эмульсионного промежуточного детонатора с учетом структуры, химического состава и кинетики детонационного процесса в инициируемом ЭВВ.

Рассмотрение вопроса инициирования ЭВВ при произвольных начальных параметрах возбуждающего воздействия позволяет более обоснованно подходить к вопросам проектирования линейных эмульсионных ПД, что делает настоящую работу полезной для горной практики.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Первоначально рассмотрим действие линейного промежуточного детонатора радиусом r_0 , помещенным в ЭВВ. радиусом R_0 .

ВВ детонатора характеризуем следующими параметрами: ρ_0 , D_0 , k_0 - плотность, скорость детонации и коэффициент потерь ВВ ПД соответственно.

Возбуждаемое ЭВВ характеризуется: ρ_0 — плотностью, R_0 — радиусом поры, Δ — размером частицы эмульсии и ударной адиабатой $D_y = A + BW_y$, где A , B — параметры ударной адиабаты инициируемого ВВ. Здесь D_y — скорость ударной волны, W_y — массовая скорость.

Введем линейную систему координат « Oy » с осью y линейного ПД. Начало данной системы координат совместим точкой инициирования ПД.

Так как сжимаемость продуктов детонации ПД ниже, чем сжимаемость пористого вещества ЭВВ, то происходит истечение продуктов детонации ПД в ЭВВ. Начальная скорость смещения границы «продукты взрыва ПД-ЭВВ» W_∞ в направлении перпендикулярном оси ПД можно найти на основании решений [20] для скользящей детонационной волны:

$$W_\infty = \frac{2k_0 D_0}{k_0^2 - 1} \left[1 - \left(\frac{(k_0 + 1)\rho_\infty (A + BW_\infty) W_\infty}{\rho_0 D_0^2} \right)^{\frac{k_0 + 1}{2k_0}} \right] \quad (1)$$

В соответствии с [21], детонационная волна в ЭВВ имеет двухслойную структуру:

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

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

Поэтому возбуждение процесса детонации в ЭВВ не является мгновенным. Для осуществления данного процесса вещество ЭВВ необходимо сжать, обеспечить его возгорание и прогорание между «горячими» точками [20, 21]. Данный процесс происходит за определенное время τ_* , которое определяется особенностями инициируемого ЭВВ.

За данное время граница раздела «продукты детонации — ЭВВ» смещается в радиальном направлении на расстояние χ , а вглубь продуктов детонации в радиальном направлении проникает возникающая в них волна разряжения на глубину $\Delta\Gamma$.

Согласно [21] $\tau_* \approx \tau_0$, (2)

где τ_0 — время прогорания ЭВВ между сенсibilизирующими порами.

$$\tau_0 = \frac{R_0}{V_{exp}} \left(\left(\frac{\pi}{6\chi_0^0} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right), \quad (3)$$

где V_{exp} — скорость прогорания межпорового пространства эмульсии; χ_0^0 — начальная пористость ЭВВ.

Величина V_{exp} определяется на основании теории горения Зельдовича-Беляева [22, 23].

Принимая порядок реакции горения ЭВВ равным двум [21], имеем:

$$V_{exp} = \frac{1}{\rho_\infty} \sqrt{\frac{2K_m}{Q_2} \left(\frac{RT_0}{E_A} \right)^3 \frac{3!}{(T - T_0)^2} \frac{M}{N_A} Z \exp \left(\frac{E_A}{RT} \right)}, \quad (4)$$

где ρ_k — плотность ЭВВ в зоне сжатия в момент прогорания; E_A — энергия активации аммиачной селитры; N_A — число Авогадро; M — средний молекулярный вес продуктов детонации ЭВВ; K_m — коэффициент теплопроводности первичных продуктов детонации ЭВВ (K_m определяется для температуры T , с учетом поправок Сезерланда); $Q_z = \frac{P}{2} \left(\frac{1}{\rho_o^2} - \frac{1}{\rho_k} \right) + Q_v^2$, где ρ_o^2 — плотность ЭВВ в момент начала термического разложения [6, 7], Q_v^2 — теплота разложения ЭВВ до первичных продуктов (распад по схеме Баума [20] на H_2O , CO , NO , N_2); Z — предэкспоненциальный множитель [22].

Оценим величину давления в продуктах детонации ПД и скорость смещения в радиальном направлении границы «продукты детонации ПД-ЭВВ» в момент τ_* в сечении «у». Принимая, что время прихода детонационной волны, распространяющейся в ПД, в сечение «у» соответствует моменту времени $\tau = 0$. На основании [20] можно показать, что начальные распределения плотности $\rho(y)$ и давления $P(y)$ в продуктах взрыва ПД в момент τ_* в области, неохваченной радиальной волной разряжения, будут описываться следующими учитываемыми действиями аксиальной волны разряжения уравнениями:

$$\rho(y) = \rho_o \frac{k_o + 1}{k_o} \left(1 - \frac{k_o - 1}{k_o} \frac{D_o \tau_*}{y + D_o \tau_*} \right)^{\frac{2}{k_o - 1}}, \quad (5)$$

$$P(y) = P_n \left(1 - \frac{k_o - 1}{k_o} \frac{D_o \tau_*}{y + D_o \tau_*} \right)^{\frac{2k_o}{k_o - 1}}, \quad (6)$$

$P_n = \frac{\rho_o D_o^2}{k_o + 1}$ — давление в т. Чепмена-Жуге в продуктах взрыва ПД.

Величина проникновения радиальной волны разряжения вглубь продуктов детонации ПД равна:

$$\Delta \tau_* = \int_0^{\tau_*} c(y) dy, \quad (7)$$

где $c(y) = \frac{D_o}{k_o + 1} \left(1 + \frac{(k_o - 1)y}{y + D_o \tau_*} \right)$ — скорость звука в продуктах детонации ПД в области, неохваченной радиальной волной разряжения, в сечении «у». Уравнение (7) справедливо при

$$\tau_* \leq \min \left\{ \frac{2y}{D_o}; \tau_{oo} \right\}, \quad (8)$$

где $\tau_{oo} = z_{oo} \frac{y}{D_o}$, z_{oo} — корень уравнения $z + (k_o + 1) \ln(1 + z) = (k_o + 1) r_o y^{-1}$.

При выполнении (8) величина $\Delta \tau_*$ определяется из (7) и равна

$$\Delta \tau_* = D_o \tau_* (k_o + 1)^{-1} \left[1 + (k_o - 1) y (D_o \tau_*)^{-1} \ln(1 + D_o \tau_* y^{-1}) \right]. \quad (9)$$

В случае $\tau_* \geq \tau_{oo}$ радиальная волна разряжения доходит до оси ПД, поэтому в этом случае принимаем, $\Delta \tau_* \equiv r_o$.

Величину смещения x , границы «продукты детонации ПД-ЭВВ» определим из уравнений:

$$x_* = W_* \tau_* \text{ и } W_* \approx 0,5(W_{oo} + W_{r1}), \quad (10)$$

где W_{r1} — радиальная компонента скорости смещения границы «продукты детонации ПД-ЭВВ» в момент времени τ_* .

Оценим величину W_{r1} из закона сохранения энергии. Рассмотрим объем вещества ПД и ЭВВ, ограниченный сечениями y и $y + dy$. Тогда:

$$d(\Delta E_m) = d(E_{k,пл}) + d(E_{k,ЭВВ}) + d(A), \quad (11)$$

где $d(\Delta E_m)$ — изменение тепловой энергии продуктов взрыва ПД в области $(y; y + dy)$ за промежуток времени τ_* с учетом не только радиального расширения, но и потерь энергии вследствие аксиального движения продуктов детонации ПД; $d(E_{k,пл})$ — кинетическая энергия радиального движения продуктов взрыва

ПД в области $(y; y + dy)$ в момент времени $\tau = \tau_*$; $d(E_{\kappa, \text{ЭВВ}})$ — кинетическая энергия радиального движения вещества ЭВВ, находящегося в области $(y; y + dy)$ в момент $\tau = \tau_*$; $d(A)$ — работа на ударное сжатие вещества ЭВВ, находящегося в области $(y; y + dy)$ к моменту $\tau = \tau_*$.

При оценке величины W_{r1} из уравнения (11) полагаем:

1. $d(E_{\kappa, \text{ЭВВ}}) = d(A)$ — т.к. вещество ЭВВ подвергается ударному сжатию — [20];
2. Радиальная скорость движения материала ЭВВ в зоне сжатия изменяется по закону $W_r = W_{r0} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{0.5}$ — [24] (коэффициент Пуассона ЭВВ принимаем равным 0,5);
3. Радиальная скорость разлетающихся взрывных газов ПД изменяется линейно с изменением текущего радиуса, а плотность продуктов взрыва ПД внутри области, охваченной радиальной волной разрывания и границей «продукты детонации ПД-ЭВВ», постоянна — [25].

Решение задачи распадается на два случая: а) $\tau_* \geq \tau_{\infty}$ — к моменту распада зоны сжатия в ЭВВ радиальная волна разгрузки доходит до оси ПД; б) $\tau_* < \tau_{\infty}$ — к моменту распада зоны сжатия в ЭВВ радиальная волна разгрузки охватывает только часть сечения ПД.

Ввиду громоздкости получающихся выражений при $\tau_* < \tau_{\infty}$, приведем менее громоздкое решение для случая $\tau_* \geq \tau_{\infty}$.

Тогда из (11) получаем следующее уравнение для определения скорости W_{r1} :

$$\frac{D_0^2}{k_0^2 - 1} \left(1 - \frac{k_0 - 1}{k_0} \frac{D_0 \tau_*}{y + D_0 \tau_*} \right)^{\frac{2k_0}{k_0 - 1}} \left[1 - \frac{1}{(1 + x_*)^{2(k_0 - 1)}} \right] = \frac{2\rho_0 W_{r0}^2 (A + BW_*) \tau_*}{\rho_0 r_0} + \frac{k_0 + 1}{4k_0} W_{r1}^2 \left(1 - \frac{k_0 - 1}{k_0} \frac{D_0 \tau_*}{y + D_0 \tau_*} \right)^{\frac{2}{k_0 - 1}} \quad (12)$$

На основании (6), (10) определяем статическую составляющую давления в продуктах детонации ПД в момент τ_* :

$$P(y, \tau_*) = \frac{P_*}{(1 + x_*)^{2k_0}} \left(1 - \frac{k_0 - 1}{k_0} \frac{D_0 \tau_*}{y + D_0 \tau_*} \right)^{\frac{2k_0}{k_0 - 1}} \quad (13)$$

Кинетическая составляющая давления P'_k продуктов взрыва ПД в момент τ_* найдется из уравнения:

$$P'_k = \frac{k_0 + 1}{2k_0} \rho_0 W_{r1}^2 \left(1 - \frac{k_0 - 1}{k_0} \frac{D_0 \tau_*}{y + D_0 \tau_*} \right)^{\frac{2}{k_0 - 1}} (1 + x_*)^{-2} \quad (14)$$

При распаде зоны сжатия $P_f > P(y, \tau_*) + P'_k = P_0$, где $P_f = \rho_0 (A + BW_{r1}) W_{r1}$ — давление в зоне сжатия.

Следовательно, при распаде зоны сжатия в ЭВВ возникнет торможение продуктов детонации ПД. Это приводит к возрастанию в них давления до величины P_x . Данная величина определяется из условия: скорости движения продуктов взрыва ПД и продуктов разложения ЭВВ на границе их раздела совпадают. На основании указанного условия получаем уравнение для определения, достигаемого при заданном воздействии, величины детонационного давления P_* в ЭВВ (принимая, что $P_x = P_*$):

$$\sqrt{\frac{2P_0}{\rho}} \frac{\frac{P_*}{P_0} - 1}{\sqrt{(k_0 + 1) \frac{P_*}{P_0} + k_0 - 1}} = \frac{2k_{\text{ЭВВ}}}{k_{\text{ЭВВ}}^2 - 1} \left(\frac{P_f}{P_*} \right)^{\frac{k_{\text{ЭВВ}} - 1}{2k_{\text{ЭВВ}}}} \times \left[1 - \left(\frac{P_*}{P_f} \right)^{\frac{k_f - 1}{2k_{\text{ЭВВ}}}} \sqrt{\frac{(k_{\text{ЭВВ}} + 1) P_*}{\rho_0}} \right] \quad (15)$$

где k_0 — коэффициент политропы ЭВВ; $\bar{\rho}$ — плотность продуктов взрыва ПД в момент $\tau = \tau_*$.

$$\bar{p} = \frac{k_0 + 1}{k_0} \rho_0 \left(1 - \frac{k_0 - 1}{k_0} \frac{D_0 \tau_0}{y + D_0 \tau_0} \right)^{\frac{2}{k_0 - 1}} (1 + x_0)^{-2} \quad (16)$$

Система уравнений (4)–(16) позволяет оценить возбуждение ЭВВ скользящей детонационной волной, возникающей при взрыве линейного ПД.

В случае наличия в ЭВВ твердых включений или твердой оболочки вокруг заряда ЭВВ инициирующий эффект скользящей детонационной волны усиливается из-за отражения от них ударных (детонационных) волн. Последнее обусловлено скачкообразным возрастанием давления в отраженной волне.

При значительных давлениях на фронте ударной волны, падающей на жесткую поверхность, определяющее влияние на давления в отраженной волне играют начальная пористость вещества ЭВВ и величина давления в падающей волне [26–28], а также сжимаемость ЭВВ и вещества преграды [20, 26, 29, 30].

Расчеты на основании работ [26–28] показали, что при отражении ударной волны, распространяющейся в ЭВВ, происходит увеличение давления по отношению к давлению в падающей волне в 2,3–2,6 раза.

Обсуждение результатов исследования

На основании выполненных исследований осуществлена оценка эффективности инициирования двух типов ЭВВ скользящей детонационной волной. Рассматривались следующие типы ЭВВ по химическому составу:

— Тип 1: NH_4NO_3 – 60,0 %, $Ca(NO_3)_2$ – 14,8 %, H_2O — 18,2 %, топливная фаза – 7,0 %. Плотность матричной эмульсии — 1,415 г/см³;

— Тип 2: NH_4NO_3 – 75,0 %, H_2O – 18,0 %, топливная фаза – 7 %. Плотность матричной эмульсии — 1,33 г/см³.

На основании решений, изложенных в работе [10, 15, 31, 32], были найдены представленные на рис. 1–6 зависимости для определения параметров τ_* , $d_{прод}$ (предельный диаметр безоболочечного цилиндрического заряда) и D_* , от величины фронтального давления в возбуждающем импульсе с учетом начальной плотности и структурных особенностей ЭВВ.

При построении зависимостей, представленных на рис. 1–6, принимали:

1. Коэффициенты ударных адиабат эмульсий равны [33] — $A = 2490$ м/с, $B = 1,63$ для ЭВВ типа 1; $A = 1920$ м/с, $B = 1,98$ для ЭВВ типа 2.

2. ПД размещается на глубине 9,1 м от верхнего уровня заряда.

3. R_∞ и ρ_∞ (рис. 1–6) – размер пор и плотность ЭВВ при атмосферном давлении, соответственно.

На рис. 7 представлены зависимости наибольшего давления в возбуждаемом ЭВВ при взрыве линейного ПД, характеризующего следующим значением параметров, $\rho_0 = 1,17$ г/см³, $D_0 = 5100$ м/с, $k_0 = 2,8$.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 1–4 и рис. 7 показывает, что при взрыве линейных эмульсионных ПД в ЭВВ, как первого, так и второго типов, возбуждается только недосжатая детонация. Однако эта детонация не обладает устойчивостью при распространении в ЭВВ [15–19].

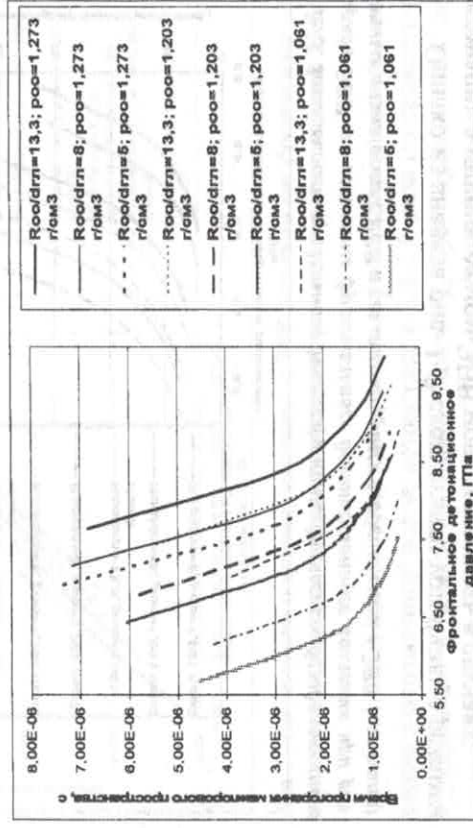


Рис. 1. Зависимость времени прогорания межфазной детонационной волны от величины фронтального детонационного давления при различных плотностях ЭВВ и его структурных особенностях (ЭВВ 1–20 типа)

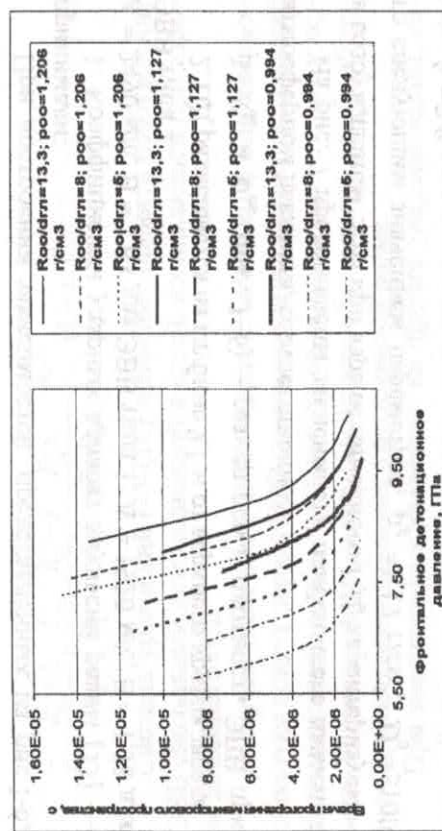


Рис. 2. Зависимость времени распространения межклеточного пространства от величины фронтального детонационного давления при различных плотностях ЭВВ и его структурных особенностях (ЭВВ 2-го типа)

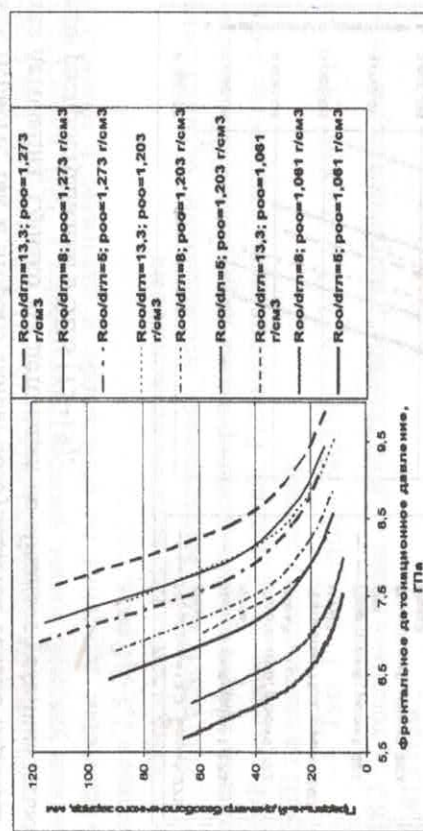


Рис. 3. Зависимость предельного диаметра цилиндрического безоболочечного заряда ЭВВ от величины фронтального детонационного давления при различных плотностях ЭВВ и его структурных особенностях (ЭВВ 1-го типа)

Однако из анализа рис. 1-7 следует, что устойчивые режимы детонации в инициируемом ЭВВ могут возникнуть в случаях:

- отражения волны от стенки скважины;
- при взаимодействии с ударными волнами, вызванными другими ПД (при инициировании ЭВВ системой сближенных ПД).

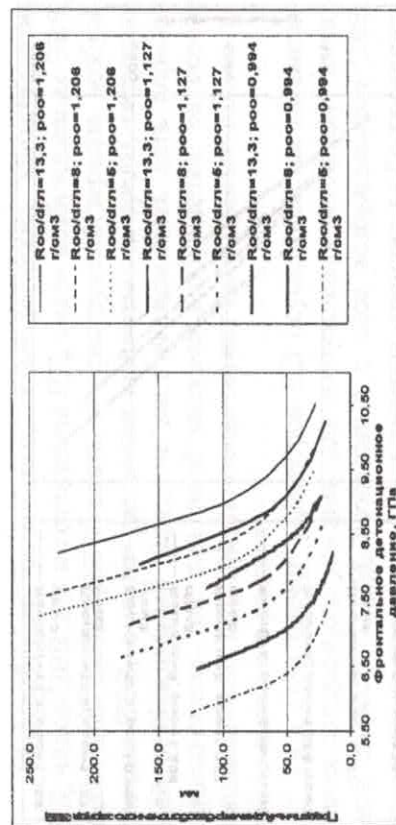


Рис. 4. Зависимость предельного диаметра цилиндрического безоболочечного заряда ЭВВ от величины фронтального детонационного давления при различных плотностях ЭВВ и его структурных особенностях (ЭВВ 2-го типа)

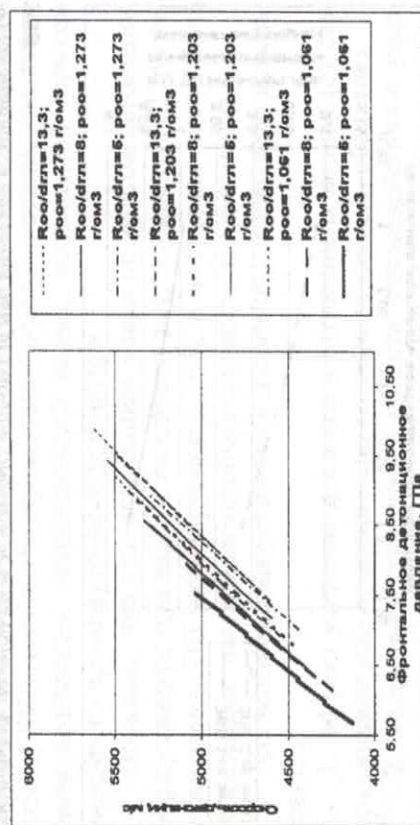


Рис. 5. Зависимость скорости детонации в ЭВВ 1-го типа от фронтального детонационного давления при различной структуре и начальной плотности ЭВВ

Это объясняется тем, что в рассматриваемых условиях давление в отраженной волне возрастает в 2,3-2,6 раза по сравнению с давлением в падающей волне. Поэтому, при определенной величине отношений: радиусов УПД и взрывной скважины, и жидкостных продуктов взрыва УПД и матричной эмульсии инициируемого ЭВВ, давление в отраженной волне может быть достаточно для возбуждения устойчивых режимов детонации.

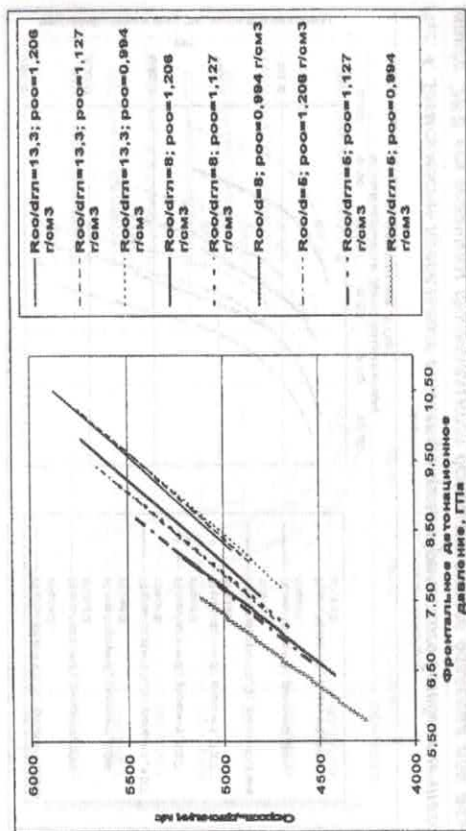


Рис. 6. Зависимость скорости детонации в ЭВВ 2-го типа от фронтального детонационного давления при различной структуре и начальной плотности ЭВВ

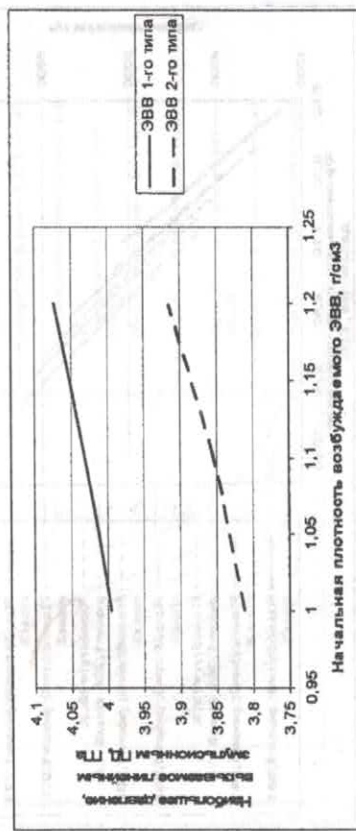


Рис. 7. Зависимости наибольшего давления в возбуждаемом ЭВВ при взрыве линейного ПД от начальной плотности ρ_{00} для разного типа ЭВВ

Высокая эффективность инициирования газовых смесей в отраженных волнах, а также с использованием сближенных многозарядных систем отмечена в работе [34].

Весма привлекательным является использование трубчатых линейных ПД, где под действием кумуляции энергии ПД [34, 35], возможно эффективное сжатие инициируемых ЭВВ.

Многообразие возможных геометрических характеристик ПД, видов ЭВВ для изготовления ПД, видов возбуждаемых ЭВВ, различных диаметров скважин и конструкций зарядов возбуждаемых ЭВВ, а также различная сжимаемость среды, окружающей возбуждаемый заряд, не дает возможность дать априори предпочтение той или иной системе возбуждения на основе эмulsionных ПД. Предпочтение может быть сделано только после конкретного расчета.

При этом расчет параметров ПД осуществляется из выполнения следующего условия: для возбуждения детонации, имеющей скорость $D(P_f)$, необходимо в слое возбуждаемого ЭВВ, размером не менее $d_{пр0}(P_f)$, в течении времени $t(P_f)$ поддерживать давление с наименьшим значением на указанном временном промежутке — P_f .

ВЫВОДЫ. В работе осуществлена оценка условий возбуждения устойчивой детонации в эмulsionных взрывчатых веществах (ЭВВ), сенсibilизированных газовыми порами, под действием скользящей детонационной волны, вызываемой взрывом линейного промежуточного детонатора.

Показано, что при скользящем ударе продуктов детонации, образующихся при взрыве линейного эмulsionного ПД, по окрестному ПД инициируемому ЭВВ, в последнем может быть возбуждена только малоустойчивая недосжатая детонация.

Для возбуждения устойчивой детонации необходимо использовать:

1. эффект усиления давления в отраженных волнах (от стенок скважин или от специально введенных твердых объектов);
 2. возрастание давления в области взаимодействия с ударными волнами, вызванными другими ПД (использованием сближенных многозарядных систем возбуждения);
 3. системы инициирования на основе кумуляции энергии ПД.
- Полученные результаты представляются полезными при проектировании и применении линейных ПД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрынин И.А. Обоснование параметров промежуточных детонаторов в скважинных зарядах для повышения эффективности дробления горных пород: автореф. дисс. на соиск. науч. степени канд. техн. наук: спец. 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород и горная теплофизика» — М., 2010. — 20 с.

2. *Перспективные взрывчатые материалы для горной промышленности*/ Щукин Ю.Г., Чернышов С.Н., Коломинов И.А. и др. // В кн.: Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле. — Екатеринбург, 2009, с. 108–118.
3. *Горинов С.А.* Гофрированная неустойчивость детонационных волн в эмульсионном взрывчатом веществе, сенсibilизированном газовыми порами // В кн.: Технология и безопасность взрывных работ — Екатеринбург, 2012, с. 163–171.
4. *Улучшение качества взрывной подготовки горной массы за счет применения промежуточных детонаторов с оптимальными габаритными размерами при инициировании скважинных зарядов эмульсионных ВВ* / Маслов И.Ю., Пулков В.В., Фоменкова В.Е. и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003, №5, с. 54–55.
5. *Фокин В.А.* Обоснование геометрических параметров удлиненной шапки-детонатора для обратного инициирования скважинных зарядов газифицированных эмульсионных взрывчатых веществ // Изв. ВУЗов. Горный журнал, 2008, №3, с. 49–54.
6. *Калякин С.А.* Обоснование параметров промежуточных детонаторов для инициирования простейших взрывчатых веществ // Сучасні ресурсоенергоберігаючі технології гірничого виробництва, 1/2012 (9), с. 50–57.
7. *Колганов Е.В., Соснин В.А.* Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. (Составы и свойства). Дзержинск Нижегородской области, изд. ГосНИИ «Кристалл», 2009, 592 с.
8. *Ксюжуган В.* Эмульсионные взрывчатые вещества. М. — Красноармейск, 2002. — 380 с.
9. *Горинов С.А., Куртин В.П., Коваленко И.Л., Собина Е.П.* Влияние химической природы окислителя на детонационные характеристики ЭВВ. // В кн.: Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле. III Уральский горно-промышленный форум. Екатеринбург, 2010. С.191–201.
10. *Горинов С.А.* Теоретическая оценка детонационных параметров гразмизмов. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2010, № 8, С.121–130.
11. *Ильин В.П., Соснин В.А., Илюхин В.С., Смышляев Н.А.* Эмульсионные промежуточные детонаторы // Взрывное дело, № 110/67. М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2013, с. 76–87.
12. *Страхов А.Г., Илюхин В.С., Соснин В.А., Ильин В.П.* Промежуточный детонатор из эмульсионного взрывчатого состава. Полезная модель № 93963 (Ru).
13. *Осторожный В.Н., Смышляев Н.А., Соснин В.А., Колганов Е.В., Ильин В.П.* Эмульсионный патрон-детонатор. Полезная модель № 122164 (Ru).
14. *Горинов С.А., Маслов И.Ю., Куртин В.П.* Возбуждение детонации в эмульсионных взрывчатых веществах, сенсibilизированных газовыми порами, скользящей детонационной волной // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2013, вип. 5 (82), с. 116–123.
15. *Горинов С.А.* Гофрированная неустойчивость детонационных волн в эмульсионном взрывчатом веществе, сенсibilизированном газовыми порами // Технологии и безопасность взрывных работ: материалы научно-технической конференции «Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле». IV Уральский горнопромышленный форум 12–14 октября 2011 г. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012, с. 163–171.

16. *Горинов С.А., Кутузов Б.Н.* О неустойчивости детонационных волн в эмульсионном взрывчатом веществе, сенсibilизированном газовыми порами // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012, № 4, С.302–307.
17. *Gorinov S., Maslov I., Bragin P., Kutuzov B.* Peculiarities of detonation of gas sensitized emulsion explosion // Combustion and Explosion (COMBEX-2013), Ramsau, Austria, March 4–8, 2013. — <http://www.combex.org/papers/fUm9d3S4/>.
18. *Горинов С.А.* Устойчивость детонации скважинного заряда эмульсионного взрывчатого вещества, сенсibilизированного газовыми порами // Горный журнал Казахстана, 2014, №1, с. 24–27.
19. *Горинов С.А.* Неустойчивость детонационного фронта в эмульсионном взрывчатом веществе, сенсibilизированном газовыми порами // В кн. Материалы XIII международной научно-технической конференции «Современные технологии ведения буровзрывных работ, их экономическая эффективность и технологическая безопасность», 23–27 июня 2014 года, г. Бургаз, с. 47–55.
20. *Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И.* Физика взрыва. — М.: Физматлит, 1959, 800 с.
21. *Кутузов Б.Н., Горинов С.А.* Иницирование эмульсионных ВВ и гразмизмов промежуточными детонаторами // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011, №7. — Препринт, С.5–19.
22. *Беляев А.Ф.* О горении нитрогликоля // В кн.: Теория горения порохов и взрывчатых веществ. М.: Наука, 1982. с. 10–34.
23. *Зельдович Я.Б.* Теория горения порохов и взрывчатых веществ. // В кн.: Теория горения порохов и взрывчатых веществ. М.: Наука, 1982. с. 49–86.
24. *Медведева Н.С., Шемякин Е.И.* Волны нагрузки при подземном взрыве в горных породах // Журнал прикладной механики и технической физики, 1961, №6, с. 78–87.
25. *Коряков В.П., Виленская Г.Г.* Расчет движения в ближней зоне взрыва в твердой среде // Журнал прикладной механики и технической физики, 1968, №6, с. 76–85.
26. *Сычев А.И.* Сильные ударные волны в пузырьковых средах // Журнал технической физики, 2010, т. 8, вып. 6, с. 31–35.
27. *Болотова Р.Х., Галимзянов М.Н., Агеева У.О.* Моделирование процессов взаимодействия сильных ударных волн в газожидкостных смесях // Изв. Вузов. Физико-математические науки. Поволжский регион. — 2011, №2 (8), с. 3–14.
28. *Донцов В.Е., Покусев Б.Г.* Отражение ударной волны от твердой стенки в суспении жидкости с твердыми частицами и газовыми пузырями // Акустический журнал, 1999, т. 45, №2, с. 215–222.
29. *Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966, 688 с.
30. *Орленко Л.П.* Физика взрыва и удара. М.: Физматлит, 2008, 304 с.
31. *Горинов С.А.* Физико-математическая модель детонации эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных газовыми порами. Стационарный режим // Труды XV Международной научно-практической конференции по взрывному делу. 6–12 сентября 2015 г. Ялта, Республика Крым, Россия.
32. *Gorinov S.A., Maslov I.Y.* Physical and technical evaluation of possibility using low-density explosives in smooth blasting // 11th International Symposium on

33. Отчет по теме: «Изучение разложения эмульсии под действием ударных волн» (заключительный) / Рук. К.К. Шведов, Институт проблем химической физики, Черноголовка, 2004. 17 с.

34. Васильев А.А. Яценские структуры многофронтной детонационной волны и инициирование (обзор) // Физика горения и взрыва, 2015, т. 51, № 1, с.9-30.

35. Забалахин Е.И. Явление неограниченной кумуляции / Сб. науч. статей «Кумуляция и неустойчивость». Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 1998, с.69-106.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Горин Сергей Александрович — кандидат технических наук, akaz2006@yandex.ru,

Маслов Илья Юрьевич — кандидат технических наук, ilmaslov@mail.ru,

Брагин Павел Александрович, главный специалист по БВР, pavelbragin83@mail.ru,

ООО Глобал Майнинг Эксплозив-Раша».

UDC 662.235

INITIATION OF EMULSION EXPLOSIVES SENSITIZED WITH GAS PORES OF THE LINEAR EMULSION PRIMER

Gorinov S.A., CLL «Global Mining Explosive-Russia», Russia,

Maslov I.Y., CLL «Global Mining Explosive-Russia», Russia,

Bragin P.A., CLL «Global Mining Explosive-Russia», Russia.

The work carried out assessment of the conditions of a stable detonation excitation in emulsion explosives (EE), sensitized gas pores, under the effect of the linear emulsion primer, taking into account the structure and chemical composition of the emulsion explosives, as well as the kinetics of the detonation process.

It is shown that when glancing blow detonation products resulting from the explosion of a linear emulsion primer, for the initiate primer surrounding emulsion explosives, the latter can be excited only low stability under-compressed detonation.

To excite a stable detonation must be used: pressure amplification effect in the reflected waves (from the walls of wells or from specially introduced solid objects); an increase in pressure in the area of primers interaction with the shock waves caused by other primers (use of multiply contiguous field systems); initiation system based on the primer power accumulation. The results are useful in the design and application of linear primer.

Key words: primer, emulsion explosive, stable detonation.

REFERENCES

1. Dobrynin I.A. Obosnovanie parametrov promezhutochnykh detonatorov v skvazhinnykh zarjadakh dlya povysheniya jeffektivnosti drobeniya gornyykh porod (Substantiation of parameters of intermediate detonators in the borehole charges to improve the efficiency of crushing rock): avtoref. diss. na soisk. nauch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 25.00.20 «Geomehanika, razrushenie gornyykh porod i gornaya teplofizika», Moscow, 2010. 20 p.
2. Perspektivnyye vzryuchayemye materialy dlya gornoj promyshlennosti (Promising explosive materials for mining industry) / Shukun Ju.G., Chernyshev S.N., Kolominov I.A. i dr. / V kn.: Razvitiye resursoobezpechivayushih tekhnologiy vo vzyrynom dele. Ekaterinburg, 2009, pp.108-118.
3. Gorinov S.A. Gofirovochnaya neustojchivost' detonatsionnykh voln v jemul'sionnom vzryuchatom veshhestve, sensibilizirovannom gazovymi porami (Crimping instability of detonation waves in an emulsion explosive, sensitized by gas pores) / V kn.: Tekhnologiya i bezopasnost' vzryyynykh rabot. Ekaterinburg, 2012, pp.163-171.
4. Uluchshenie kachestva vzryynoy podgotovki gornoj massy za schet primeneniya promezhutochnykh detonatorov s optimal'nymi gabaritnymi razmerami pri iniciirovani skvazhinnykh zarjadov jemul'sionnykh VV (Improving the quality of explosive preparation of rock mass through the use of intermediate detonators with the optimal dimensions at the initiation of borehole charges of emulsion explosives) / Maslov I.Ju., Pupkov V.V., Fomenkova V.E. i dr. // Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten', 2003, No 5, pp.54-55.
5. Fokin V.A. Obosnovanie geometricheskikh parametrov udlinennoj shazhki-detonatora dlya obratnogo iniciirovaniya skvazhinnykh zarjadov gazifitsirovannykh jemul'sionnykh vzryuchayemykh veshhestv (Substantiation of geometrical parameters of extended checkers-detonator for a reverse initiation of borehole charges gasified emulsion explosives) // Izv. VUZov. Gornyy zhurnal, 2008, No 3, pp.49-54.
6. Kaljakin S.A. Obosnovanie parametrov promezhutochnykh detonatorov dlya iniciirovaniya prostejshih vzryuchayemykh veshhestv (Justification of parameters of the intermediary detonators for initiating of the simplest explosives) // Suchasni resursoobezpechivayushih tekhnologiy gimichnogo v-robnictva, 1/2012 (9), pp.50-57.
7. Kolganov E.V., Sosnin V.A. Jemul'sionnyye promyshlennyye vzryuchayemye veshhestva. (Sostavy i svoystva) (Emulsion commercial explosives production. (Compositions and properties)). Dzerzhinsk Nizhegorodskoj oblasti, izd. GosNII «Krishtal», 2009. 592 p.
8. Ksjuguang V. Jemul'sionnyye vzryuchayemye veshhestva (Emulsion explosives). Moscow. Krasnoarmejsk, 2002. 380 p.
9. Gorinov S.A., Kuprin V.P., Kovalenko I.L., Sobina E.P. Vlijanie himicheskoj prirody oksidizatora na detonatsionnyye harakteristiki Je/VV (Influence of the chemical nature of the oxidizer in the detonation characteristics of emulsion explosives) // V kn.: Razvitiye resursoobezpechivayushih tekhnologiy vo vzyrynom dele. III Ural'skij gorno-promyshlennyj forum. Ekaterinburg, 2010. pp.191-201.
10. Gorinov S.A. Teoreticheskaja ocenka detonatsionnykh parametrov granulatov (Theoretical estimation of detonation parameters of granadites) // Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten', 2010, No 8, pp.121-130.
11. Il'in V.P., Sosnin V.A., Iljuhin V.S., Smyshljaev N.A. Jemul'sionnyye promezhutochnyye detonatory (Emulsion intermediate detonators) // Vzryynoe delo, No 110/67. Moscow. ZAO «MVK po vzyrynomu delu pri AGN», 2013, pp.76-87.
12. Strahov A.G., Iljuhin V.S., Sosnin V.A., Il'in V.P. Promezhutochnyy detonator iz jemul'sionnogo vzryuchalogo sostava (Intermediate detonator emulsion explosive composition). Poleznaja model' No 93963 (Ru).
13. Ostorozhnyj V.N., Smyshljaeva N.A., Sosnin V.A., Kolganov E.V., Il'in V.P. Jemul'sionnyj patron-detonator (Emulsion cartridge-detonator). Poleznaja model' No 122164 (Ru).
14. Gorinov S.A., Maslov I.Ju., Kuprin V.P. Vozbuzhdenie detonatsii v jemul'sionnykh vzryuchayemykh veshhestvakh, sensibilizirovannykh gazovymi porami, skol'zashhej detonatsionnoj volnoj (Initiation of detonation in emulsion explosives sensitized by gas pores, sliding detonation wave) // Viskn. Kremen-chuetskogo nacional'nogo universiteta imeni Mihajla Ostrogradskogo, 2013, vyp.5 (82), pp.116-123.
15. Gorinov S.A. Gofirovochnaya neustojchivost' detonatsionnykh voln v jemul'sionnom vzryuchatom veshhestve, sensibilizirovannom gazovymi porami (Crimping instability of detonation waves in an emulsion explosive, sensitized by gas pores) // Tekhnologiya i bezopasnost' vzryyynykh rabot: materialy nauchno-tehnicheskoy konferencii «Razvitiye resursoobezpechivayushih tekhnologiy vo vzyrynom

delex. IV Ural'skij gornopromyshlennyj forum 12–14 oktjabrja 2011. Ekaterinburg: IGD Uro RAN, 2012, pp.163–171.

16. Gorinov S.A., Kutuzov B.N. *O neustojchivosti detonacionnyh voln v jemul'sionnom vzryvchatom veshstve, sensibilizirovannom gazovymi porami* (On the instability of detonation waves in an emulsion explosive, sensitized by gas pores) // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', 2012, No 4, pp.302–307.

17. Gorinov S., Maslov I., Bragin P., Kutuzov B. *Peculiarities of detonation of gas sensitized emulsion explosion* (Peculiarities of detonation of emulsion sensitized gas explosion) // Combustion and Explosion (COMBEX-2013), Ramsau, Austria, March 4–8, 2013. <http://www.combex.org/papers/UM9d3SA/>.

18. Gorinov S.A. *Ustojchivost' detonacii skvazhinnogo zarjada jemul'sionnogo vzryvchatogo veshstva, sensibilizirovannogo gazovymi porami* (Stability of the borehole charge of detonation of emulsion explosives sensitized by gas pores) // Gornyj zhurnal Kazahstana, 2014, No 1, pp.24–27.

19. Gorinov S.A. *Neustojchivost' detonacionnogo fronta v jemul'sionnom vzryvchatom veshstve, sensibilizirovannom gazovymi porami* (Instability of detonation front in emulsion explosive, sensitized by gas pores) // V kn. Materialy XIII mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Sovremennye tehnologii vedenija burovykh rabot, ih jekonomicheskaja jeffektivnost' i tehnogennaja bezopasnost'», 23–27 junia 2014 goda, g. Burgas, s.47–55.

20. Baum F.A., Stanjukovich K.P., Shehter B.I. *Fizika vzryva* (Physics of explosion). Moscow: Fizmatgiz, 1959. 800 p.

21. Kutuzov B.N., Gorinov S.A. *Incitirovanie jemul'sionnyh VV i granjemitov promezhutochnymi detonatorami* (Initiation of emulsion explosives and detonators granitov intermediate) // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', 2011, No 7. Preprint, pp.5–19.

22. Beljaev A.F. *O gorenii nitroglikolja // V kn.: Teorija goreniya porohov i vzryvchatykh veshstev* (Combustion of nitroglycol). Moscow: Nauka, 1982. pp.10–34.

23. Zel'dovich Ja.B. *Teorija goreniya porohov i vzryvchatykh veshstev* (Theory of combustion of powders and explosives). // V kn.: Teorija goreniya porohov i vzryvchatykh veshstev. Moscow, Nauka, 1982. pp.49–86.

24. Medvedeva N.S., Shemjakina E.I. *Volny nagruzi pri podzemnom vzryve v gornyh porodach* (Shemjakina load wave in an underground explosion in rocks) // Zhurnal prikladnoj mekhaniki i tehnicheskoy fiziki, 1961, No 6, pp.78–87.

25. Korjajov V.P., Vilenkaja G.G. *Raschet dvizhenija v blizhej zone vzryva v tverdoj srede* (Calculation of the movement in the near zone of explosion in solid media) // Zhurnal prikladnoj mekhaniki i tehnicheskoy fiziki, 1968, No 6, pp.76–85.

26. Sychev A.I. *Sil'nye udarnye volny v puty'kovykh sredah* (Strong shock waves in bubbly media) // Zhurnal tehnicheskoy fiziki, 2010, t.8, vyp. 6, pp.31–35.

27. Bolotova R.H., Galimjanov M.N., Agisheva U.O. *Modelirovanie processov vzaimodejstvija sil'nykh udarnykh voln v gazozhidkostnykh smesjah* (Modelling of processes of interaction of strong shock waves in gas-liquid mixtures) // Izv. Vuzov. Fiziko-matematicheskie nauki. Povolzhskij region, 2011, No 2 (8), pp.3–14.

28. Doncov V.E., Pokushev B.G. *Otrazhenie udarnoj volny ot tverdoj stienki v suspensii zhidkosti s tverdyimi chasticami i gazovymi puty'kami* (Reflection shock wave from a solid wall in liquid suspension with solid particles and gas bubbles) // Akusticheskij zhurnal, 1999, t.45, No 2, pp.215–222.

29. Zel'dovich Ja.B., Rajzer Ju.P. *Fizika udarnykh voln i vysokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh javlenij* (Physics of shock waves and high temperature hydrodynamic phenomena). Moscow: Nauka, 1966. 688 p.

30. Orlenko L.P. *Fizika vzryva i udara* (Physics of explosion and shock). Moscow: Fizmatlit, 2008. 304 p.

31. Gorinov S.A. *Fiziko-matematicheskaja model' detonacii jemul'sionnyh vzryvchatykh veshstev, sensibilizirovannykh gazovymi porami. Stacionarnyj rezhim* (Physico-mathematical model of detonation of emulsion explosives sensitized by gas pores. Stationary regime) // Trudy XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii po vzryvnomu delu. 6–12 sentjabrja 2015 g. Jalta, Respublika Krym, Rossija.

32. Gorinov S.A., Maslov I.Y., Bragin P.A. *Physical and technical evaluation of possibility using low density explosives in smooth blasting* (Physical and technical evaluation of possibility of using low density explosives in smooth blasting) // 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. 24–26 August 2015. Sydney, Australia: Published by AIMM, 2015, pp.555–564.

33. *Otchet po teme: «Izuchenie razlozhenija jemul'sii pod dejstviem udarnykh voln» (zaključitel'nyj)* (The report on the theme: «Study of the decomposition of the emulsion under the action of shock waves» (final)) / Ruk. K.K. Shvedov, Institut problem himicheskoy fiziki, Chernogolovka, 2004. 17 s.

34. Vasil'ev A.A. *Jachetsiya struktury mnogofrontovoj detonacionnoj volny i incitirovanie (obzor)* (Cellular structure of the detonation wave and the initiation (review)) // Fizika goreniya i vzryva, 2015, t. 51, No 1, pp.9–30.

35. Zababihin E.I. *Javlenie neogranichennoj kumuljacji* (Phenomenon unlimited cumulation) / Sb. nauch. statej «Kumuljacija i neustojchivost'». Snezhinsk: Izd-vo RFJAc-VNIITF, 1998, pp.69–106.

СОДЕРЖАНИЕ

Горин С.А., Маслов И.Ю., Брагин П.А.
ИНИЦИИРОВАНИЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ ГАЗОВЫМИ ПОРАМИ, ЛИНЕЙНЫМ ЭМУЛЬСИОННЫМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ДЕТОНАТОРОМ3

CONTENT

Gorinov S.A., Maslov I.Y., Bragin P.A.
INITIATION OF EMULSION EXPLOSIVES SENSITIZED WITH GAS PORES OF THE LINEAR EMULSION PRIMER3

С.А. Горинов
И.Ю. Маслов
П.А. Брагин

**ИНИЦИИРОВАНИЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ
ВЗРЫВАТЫХ ВЕЩЕСТВ,
СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ
ГАЗОВЫМИ ПОРАМИ,
ЛИНЕЙНЫМ ЭМУЛЬСИОННЫМ
ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ДЕТОНАТОРОМ**

Горный информационно-аналитический
бюллетень (научно-технический журнал) № 5
(специальный выпуск 16). Отдельная статья

Режим выпуска «молния»

Выпущено в авторской редакции

Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета И.А. Вершинина
Дизайн обложки О.Ю. Долгошеева
Зав. производством Н.Д. Урбушкина
Полиграфическое производство Л.Н. Файнгор

Подписано в печать 21.03.2016. Формат 60х90/16.
Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Times».
Печать трафаретная на цифровом дупликаторе.
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 500 экз. Изд. № 3057

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

Отпечатано в типографии
издательства «Горная книга»

119049 Москва, ГСП-1,
Ленинский проспект, 6, издательство «Горная книга»
Телефон (499) 230-27-80; факс (495) 956-90-40;
тел./факс (495) 737-32-65

