

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИХ ИНИЦИИРОВАНИЯ

М.Н. Оверченко¹, С.П. Мозер¹, С.А. Толстунов², В.А. Белин³

¹ АО «Орика СиАйЭс», Москва, Россия

² МАНЭБ, Санкт-Петербург, Россия

³ ГИ НИТУ «МИСиС», АНО НОИВ, Москва, Россия, e-mail: bvamggu@mail.ru

Аннотация: Приведены основные способы управления энергией взрыва удлиненных скважинных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ и расчеты эффективных интервалов замедления при разновременном взрывании частей скважинного заряда. Определены условия повышения эффективности действия единичного заряда взрывчатого вещества путем деления его на части. Между отдельными частями заряда устанавливается промежуток определенных размеров. Дан расчет активного воздушного промежутка, расположенного между частями скважинного заряда эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) на основе второго правила термодинамики и принципа Паскаля. Приведены результаты испытаний пассивных воздушных промежутков. Рассмотрены два наиболее распространенных в промышленности случая применения разновременного взрывания частей заряда с применением программируемых устройств для их инициации. Установлено, что разделение заряда в скважине на части с последующим иницированием этих частей от отдельных промежуточных детонаторов и электродетонаторов высокой точности способствует поддержанию максимально высокой скорости детонации ЭВВ. Полученные результаты позволяют повысить эффективность действия удлиненных зарядов эмульсионных ВВ и расширить арсенал средств и способов управления энергией взрыва.

Ключевые слова: безопасность, взрывные работы, физика взрыва, воздушный промежуток, расчет, интервал замедления, электронные детонаторы, дистанционное взрывание.

Для цитирования: Оверченко М. Н., Мозер С. П., Толстунов С. А., Белин В. А. Расчет элементов управления энергией взрыва эмульсионных взрывчатых веществ с применением программируемых устройств для их иницирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 92–100. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-92-100.

Design of control elements for emulsion explosive energy with programmable initiation

M.N. Overchenko¹, S.P. Mozer¹, S.A. Tolstunov², V.A. Belin³

¹ JSC «Orica CIS», Moscow, Russia

² International Academy of Ecology, Man and Nature (IAEMN), Saint-Petersburg, Russia

³ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: bvamggu@mail.ru

Abstract: The basic procedures are presented for the emulsion explosive energy control in long boreholes with calculations of efficient delay intervals at different firing times per borehole sections. It is determined that efficiency of a single explosive charge can be enhanced by its decoupling. The decoupling gap has a certain size. The active air gaps in emulsion explosive charges are calculated using the second law of thermodynamics and Pascal's principle. The tests of the passive air gaps are described. Two most often industrially used cases of different time decoupled charge blasting with programmable initiation are discussed. As a result, it is found that decoupling of the charge and initiation of the charge section using separate intermediate detonators and high-precision electric detonators promotes maintenance of maximum quickness of emulsion explosives. The obtained results can improve efficiency of emulsion explosives in long boreholes, as well as allow a wider range of methods and means for the explosion energy control.

Key words: safety, blasting, blast physics, air gap, calculation, delay interval, electric detonators, remote blasting.

For citation: Overchenko M. N., Mozer S. P., Tolstunov S. A., Belin V. A. Design of control elements for emulsion explosive energy with programmable initiation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(2):92-100. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-92-100.

Введение

Подготовка полускальных и скальных горных пород к выемке на открытых горных работах в большинстве случаев осуществляется буровзрывным способом. В последние годы в качестве взрывчатых веществ стали использовать эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) в сочетании с неэлектрическими системами взрывания (Искра, Эксель, Примадет и др.). Применение таких технических решений дало существенную экономическую выгоду, позволило значительно снизить трудоемкость работ по зарядке скважин и существенно повысить безопасность горных работ. В соответствии с требованиями Федеральных норм и правил безопасности при взрывных работах при глубине скважин более 15 м должно быть обязательное дублирование внутрискважинной сети [1]. При этом основной и дублирующий промежуточные детонаторы (ПД) могут располагаться в скважине либо вместе, либо отдельно, т.е. в разных частях скважинного заряда ВВ. Чаще всего они располагаются на разном расстоянии от устья скважины. Промежуточные детонаторы могут взрываться либо одно-

временно, либо с некоторой задержкой по времени относительно друг друга.

Методы исследований

В практике ведения взрывных работ используется метод короткозамедленного взрывания между группами зарядов взрывчатых веществ (ВВ), что обеспечивает сейсмическую безопасность проведения промышленных взрывов на горных предприятиях. Развитием этой технологии стало применение внутрискважинного замедления между частями заряда ВВ или между рассредоточенными элементами заряда. Эта технология обеспечивает концентрацию энергии взрыва в нужном слое взрывааемых пород. Однако ее применение связано с необходимостью точного срабатывания средств инициирования зарядов (разброс не должен превышать 1 мс), точным расчетом необходимого интервала замедления и определением последовательности взрывания частей заряда. Существующие детонаторы короткозамедленного и замедленного действия не могут обеспечить заданную точность срабатывания из-за элемента замедления, состоящего из пиротехнического состава с изменяющи-

мися при изготовлении и хранении своими средствами.

Кроме этого, как правило, применяется упрощенная методика определения времени задержки при одновременном взрывании частей заряда в одной скважине. Наиболее часто встречается вариант, когда первым взрывается нижний ПД («нижнее» инициирование), а затем через интервал от 10 до 50 мс взрывается верхний заряд.

В работах [2, 3] отмечается низкая эффективность такого подхода к управлению энергией взрыва. Некоторые авторы [4–6] приводят расчеты эффективных интервалов замедления при одновременном взрывании частей скважинного заряда. Однако их реализация была затруднительна из-за отсутствия детонаторов короткозамедленного действия с необходимыми интервалами замедления. В Российской Федерации промышленность выпускает линейку детонаторов короткозамедленного действия, которая не совпадает с необходимыми расчетными интервалами. Особенностью этих детонаторов является то, что при их взрыве наблюдается отклонение от номинала по времени замедления от 6 до 10%. Это обстоятельство существенно ограничивает применение этих детонаторов для осуществления внутрискважинного замедления.

В последние годы в отечественной и зарубежной практике ведения взрывных работ появилось несколько конструкций электронных устройств, имеющих в качестве исполнительного механизма электродетонатор высокой точности с программируемым замедлением и цифровым управлением [7].

В качестве примера рассмотрим систему дистанционного взрывания i-кон для открытых работ [8]. Работа в этой системе начинается с компьютерного моделирования и проектирования массовых взрывов применительно к конк-

ретным горно-геологическим условиям разрабатываемого месторождения. Готовые схемы создаются с помощью программы SHOTPlus-i, которые затем скачиваются в Логгер.

Переносное устройство i-кон Logger (Логгер) служит для считывания, программирования и тестирования детонаторов. Встроенная память позволяет иметь все сведения о 200 детонаторах. Управление Логгерами осуществляется подсистемой i-кон Blaster 2400S, позволяющей управлять до 12 Логгерами с максимальным количеством детонаторов 2400 шт. Возможно объединение и синхронизация двух взрывных машинок Blaster 2400S с общим количеством детонаторов 4800 шт. Компонент системы SURBS позволяет инициировать взрывы с безопасного расстояния. Подача сигнала на проведение массового взрыва осуществляется через защитный ключ, исключающий несанкционированный доступ к взрывной сети. При взрывании в подземных выработках используется устройство для дистанционного взрывания CEBS. Подача питания для заряда конденсаторов, входящих в конструкцию детонаторов, осуществляется с помощью медных проводов. Данная система дистанционного взрывания позволяет осуществлять замедление от 0 до 15 с с точностью 0,1 мс.

Рассмотрим первый случай, когда ПД находятся на некотором расстоянии друг от друга и вступают в действие одновременно. При таком расположении ПД при их инициировании происходит гидравлический удар. Результатом такого взаимодействия является скачкообразный переход термодинамического процесса в процесс стационарного выделения тепла [9]. Такой переход приводит к падению скорости детонации до минимально допустимых пределов, а в ряде случаев и прекращению детонации ЭВВ. Расположение ПД в противоположных концах

заряда и инициирование первым верхнего («верхнее» инициирование) дает худшие результаты в сравнении с инициацией первым нижнего ПД («нижнее» инициирование).

Для повышения эффективности действия удлинённых зарядов эмульсионных ВВ и расширения арсенала средств и способов управления энергией взрыва предлагается разделить скважинный заряд на части длиной не более 15 м. Между частями заряда необходимо расположить блокировочное устройство, предотвращающее влияние между частями заряда на заданный промежуток времени. В связи с тем, что ЭВВ обладают гидравлическими свойствами, т.е. происходит неизбежное движение заряда при инициировании ПД, наиболее целесообразно использовать воздушный промежуток определенных, заранее заданных размеров. При детонации нижней части заряда обеспечиваются условия для движения ВВ, и происходит сжатие воздушного столба. Верхняя часть заряда при этом служит забойкой для нижнего и одновременно сохраняет свое положение в скважине до момента вступления в действие второго ПД. Воздушные промежутки между частями скважинного заряда могут быть активные и пассивные.

В работах [10–13] приводятся результаты испытаний пассивных воздушных промежутков между частями скважинного заряда, которые дали хорошие результаты. Ниже приводится расчет активного воздушного промежутка между частями скважинного заряда ЭВВ.

Метод расчета параметров

При адиабатическом сжатии газа в замкнутом пространстве происходит увеличение температуры газа. На основе уравнения Пуассона [14] можно вычислить изменение температуры сжатого газа.

Из уравнения Пуассона находим:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}},$$

где T_1 — начальная температура состояния газа, К; T_2 — конечная температура состояния газа, К; P_1 — начальное давление газа, Па; P_2 — конечное давление газа, Па; γ — показатель адиабаты.

Тогда:

$$T_2 = \frac{T_1}{\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}.$$

Показатель адиабаты для сухого воздуха при температуре 20 °С составляет $\gamma = 1,4$. Расчеты показывают, что для повышения температуры сухого воздуха от +20 °С до 600 °С необходимо мгновенно повысить давление до 3,6 МПа. Такому давлению соответствует 24-х кратное изменение объема.

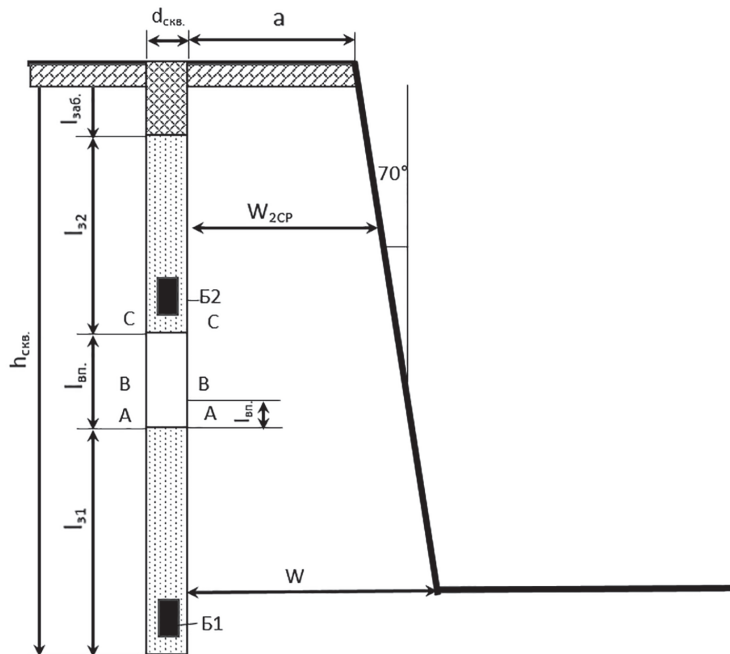
Выбор температуры 600 °С обусловлен следующими обстоятельствами. Как известно, в состав ЭВВ входят сенсibiliзирующие добавки в виде нитрита натрия, полые стеклянные сферы и др. [15–17]. Под действием температуры нитрит натрия разлагается с выделением газа в виде мелких пузырьков. Основное назначение сенсibiliзирующих добавок — поддержание перепада температуры на фронте детонационной волны. Пузырьки газа при адиабатическом сжатии на фронте детонационной волны создают перепад температуры и являются ускорителями и стабилизаторами процесса детонации ЭВВ. В состав ЭВВ типа Фортис в качестве источника энергии входит индустриальное масло И-20А. При температуре 560 °С и выше индустриальное масло И-20А обеспечивает стабильную детонацию ЭВВ. При такой температуре масло полностью переходит из жидкого состояния в парогазовую смесь, обеспечивая максимальную скорость

окисления в контакте с кислородом. Если в качестве газогенерирующей добавки используются полые стеклянные сферы, то при температуре 600 °С также заканчивается процесс их размягчения и происходит их интенсивное сжатие.

Схема к расчету размеров воздушного промежутка показана на рисунке. Воздушный промежуток расположен между нижним скважинным зарядом длиной l_{31} , с ПД — Б₁ и верхним скважинным зарядом l_{32} . Верхний скважинный заряд оснащен ПД — Б₂ и забоечным материалом высотой $l_{заб.}$. В качестве меры объема воздушного промежутка принят объем воздуха в скважине, равным объему диска в сечении скважины А-А и В-В. Диаметр диска соответствует диаметру скважины $d_{скв.}$. Высота диска между точками А и В, равная $l_{пр.}$, определяется исходя из паспортных данных по типу ВВ ПД на предмет передачи детонации через влияние, т.е. через воздушный промежуток.

Так, например, для патронов Сенател (производства компании «Орика») такое расстояние колеблется от 3 до 8 см. Среднее значение принимаем 6 см. Следовательно, искомая длина воздушного промежутка будет определена из выражения $24 \cdot l_{пр}$ или $24 \cdot 6 = 144$ см.

Теперь необходимо полученный размер воздушного промежутка проверить на предмет его сжатия при движении столба ЭВВ нижнего заряда после детонации ПД — Б₁. При взрыве заряда тротила плотностью 1,3 г/см³ в воде скорость воды за фронтом ударной волны УВ составляет $V = 735$ м/с [18–20]. Переходный коэффициент эффективности для ЭВВ типа Фортис по отношению к тротилу составит 0,61. Следовательно, скорость вещества за фронтом ударной волны (УВ) для ЭВВ Фортис будет $V_{\phi} = 448,3$ м/с. Общее время детонации нижнего заряда ЭВВ Фортис t_{31} длиной 15 м при средней скорости детонации 5000 м/с составит 0,003 с. За это время заряд подвинет-



Принципиальная схема к расчету параметров воздушного промежутка
Block diagram for calculation of air gap parameters

ся на расстояние $V_{\phi} \cdot t_{31} = 448,3 \cdot 0,003 = 134$ см. В связи с тем, что плотность ЭВВ Фортис составляет 1,1–1,2 г/см³, а плотность воды равна 1,0 г/см³, то указанный размер необходимо увеличить на 3%, т.е. на 4,4 см. Следовательно, в общей сложности заряд подвинется на расстояние 138,4 см. Иными словами, при сжатии воздушного промежутка на 138,4 см будет достигнута температура 600 °С. В этот момент сечение В–В подойдет достаточно близко к сечению С–С. При дальнейшем движении заряда будет наблюдаться интенсивное повышение температуры в воздушном зазоре, и воздушный промежуток начнет работать в режиме разгона детонации верхнего заряда. Следовательно, верхний ПД должен быть введен в действие не ранее 0,003–0,0031 с после начала детонации нижнего ПД.

Интервал замедления «сверху», т.е. когда первым взрывается верхний ПД, располагаемый у устья скважины, определяется из условия начала разрушения верхней части уступа и смещения горной массы. Следовательно, инициирование нижнего ПД должно происходить в тот момент, пока не разрушится верхняя часть уступа. Время замедления определяется из выражения

$$T_{зам} = \frac{l_{32}}{V_{ВВ}} + \frac{W_{2ср}}{C_p} + \frac{W_{2ср}}{C_{\rho 0}}, \text{ мс}$$

где $T_{зам}$ — время замедления начала срабатывания нижнего заряда, мс; l_{32} — длина верхней части заряда скважины, м; $W_{2ср}$ — линия наименьшего сопротивления на уровне центра верхнего заряда, м; C_p — скорость падающего фронта поля напряжений, м/с; $C_{\rho 0}$ — скорость отраженного фронта поля напряжений, м/с; $V_{ВВ}$ — скорость детонации ЭВВ, м/с.

На формирование поля напряжений значительное влияние оказывают условия взрывания. Взрывание в зажатой среде и на свободную поверхность дают разные значения отраженной волны поля напряжений. При проведении массовых взрывов приходится производить взрывание как на свободную поверхность, так и на необрунную горную массу (взрывание в «зажиме») [13, 23]. В этом случае в зажатой среде значения отраженной волны поля напряжений будут иметь меньшие значения. Расчетные значения замедлений между частями скважинного заряда показаны в таблице.

Анализ результатов

Сравнение результатов расчетов интервалов замедления между отдельными

Интервалы замедления (мс) между частями скважинного заряда

при взрывании по схеме замедления «сверху»

Delayed intervals (ms) per sections of decoupled charge in blasting with delay from above

Высота уступа, м	Длина верхнего заряда в скважине, м	Значение $W_{2ср}$, м	Гранит, $C_p = 3500$ м/с	Гранит, $C_p = 3500$ м/с	Железистый кварцит, $C_p = 4000$ м/с	Железистый кварцит, $C_p = 4000$ м/с
			скорость детонации, $V_{дет} = 4500$ м/с	скорость детонации, $V_{дет} = 6000$ м/с	скорость детонации, $V_{дет} = 4500$ м/с	скорость детонации, $V_{дет} = 6000$ м/с
20	6	6,3	4,8/8,0	4,5/7,6	4,4/6,7	4,1/6,5
25	7	6,2	5,0/7,6	4,6/7,2	4,6/6,8	4,2/6,4
30	8	5,9	5,1/7,5	4,6/7,1	4,7/6,8	4,2/6,3

Примечание. В числителе — замедление в миллисекундах при взрывании на свободную плоскость; в знаменателе — при взрывании на необрунную горную породу (в зажатой среде).

ми частями заряда по первому и второму вариантам показывает существенную разницу в длительности интервалов. При замедлении «сверху» длительность интервалов замедления значительно больше. Решающее влияние на длительность интервала замедления оказывают скорости поля напряжений, падающей и отраженной волн. Изменение условий взрывания (взрывание на неубранную горную массу) также увеличивает значение интервала замедления примерно на 35–70%.

Разделение заряда скважины на части с использованием воздушного промежутка позволяет снизить сейсмическую нагрузку на массив и улучшить кусковатость горной массы до необходимых оптимальных размеров.

Заключение

Разделение заряда в скважине на части с последующим инициированием

этих частей от отдельных ПД способствует поддержанию максимально высокой скорости детонации ЭВВ и, как следствие, повышению качества дробления горной массы и снижению вредных выбросов в атмосферу. Указанные интервалы замедления не могут быть реализованы с помощью обычных детонаторов короткозамедленного действия отечественного и зарубежного производства в силу большого разнообразия значений и разброса времени срабатывания. Система i-коп позволяет в полной мере реализовать на практике свои преимущества в данных условиях. Следует также иметь в виду, что для ЭВВ скорость детонации изменяется в широких пределах и зависит от плотности эмульсии. Поэтому для осуществления расчетов интервалов замедления для конкретного месторождения необходимо проводить периодические испытания скорости детонации ЭВВ в скважинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах», приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 605 от 16.12.2013 г., с изм. ФНП пр. № 518 от 20.11.2017.*
2. *Демидюк Г. П., Дубнов Л. В., Стоянов В. В. и др. Техника и технология взрывных работ на рудниках / Под общ. ред. Г. П. Демидюка. — М.: Недра, 1978. — 238 с.*
3. *Мельников Н. В., Марченко Л. Н. Подготовка горной массы взрывом при поточной технологии разработки скальных пород и руд // Взрывное дело. — № 71/28. — С. 41–47.*
4. *Авдеев Ф. А., Барон В. Л., Гуров Н. В., Кантор В. Х. Нормативный справочник по буровзрывным работам. — М.: Недра, 1986. — 511 с.*
5. *Баум Ф. А. Станюкович К. П., Чельшев В. П. Шехтер Б. И. Физика взрыва. — М.: Наука, 1975. — 704 с.*
6. *Справочник. Открытые горные работы. — М.: Горное бюро, 1994. — 590 с.*
7. *Белин В. А., Кутузов Б. Н., Ганопольский М. И. и др. Технология и безопасность взрывных работ. — М.: Горное дело; Киммерийский центр, 2016. — 424 с.*
8. *Оверченко М. Н., Мозер С. П. Совершенствования взрывных работ с использованием электронных систем инициирования компании «Орика» // Взрывное дело. — 2017. — № 118/75. — С. 125–139.*
9. *Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. 5 изд., испр. — М.: Физматлит, 2005. — 544 с.*
10. *Анисимов В. Н., Белин В. А., Дугарцыренов А. В. Пылегазоподавление при крупномасштабных массовых взрывах на карьерах с помощью тонкодисперсных водяных завес // Горный журнал. — 2007. — № 12. — С. 101–103.*
11. *Schoch S., Nordin-Bates K., Nikiforakis N. An eulerian algorithm for coupled simulations of elastoplastic-solids and condensed-phase explosives // Journal of Computational Physics. 2013. Vol. 252, pp. 163–194.*

12. *Kozyrev S., Alenichev I., Kamyansky V.* Particularities of destruction of out-contour rock mass associated with blasting the system of borehole charges // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Vol. 17, no 13, pp. 653–659.
13. *Xiaodong Fu, Qian Sheng, Yonghui Zhang, Jian Chen* Application of the discontinuous deformation analysis method to stress wave propagation through a one-dimensional rock mass // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015, Vol. 80, pp. 155–170.
14. *Кутузов Б. Н.* Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом. — М.: Изд-во МГГУ, 2009. — 471 с.
15. *Ильин В. П., Валешный С. И., Соснин В. А.* Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества в России // Взрывное дело. — 2012. — № 108/65. — С. 174–190.
16. *Колганов Е. В., Соснин В. А.* Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. — Дзержинск: Изд-во ГосНИИ «Кристалл», 2009. — 592 с.
17. *Mishra A., Rout M., Singh D. R., Jana S.* Influence of density of emulsion explosives on its velocity of detonation and fragmentation of blasted muckpile // Current Science (India). 2017. Vol. 112, no 3, pp. 602–608.
18. *Balakrishnan V., Pradhan M.* Performance analysis of using discarded water bottles in explosive column for surface mine blasts // Chemical Engineering Transactions. 2018, Vol. 67, pp. 211–216.
19. *Коул Р.* Подводные взрывы. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. — 494 с.
20. *Христофоров Б. Д., Широков Э. А.* Параметры ударной волны при подводном взрыве шпурового заряда // ПМТФ. — 1962. — № 5. — С. 48–52.
23. *Dang Van Kien.* Investigation blasting vibration during excavation tunnel by drilling and blasting method in the urban conditions by two-dimension model // Journal of Mining Industrial. Ha Noi. 2014. No 6. Pp. 7–12. **ИДБ**

REFERENCES

1. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vzryvnykh rabotakh», prikaz Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru No 605 ot 16.12.2013 g., s izm. FNP pr, No 518 ot 20.11.2017* [Federal Safety Code for Industry: Safety regulations for blasting, approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service, Order No. 605 dated Dec 16, 2013, with amendments under Order No. 518 date Nov 20, 2017]. [In Russ].
2. *Demidyuk G. P., Dubnov L. V., Stoyanov V. V., etc.* Tekhnika i tekhnologiya vzryvnykh работ на рудниках [Technology and equipment of blasting in open pit mines], Moscow, Nedra, 1978, 238 p.
3. *Mel'nikov N. V., Marchenko L. N.* Preparation of rock mass by blasting in continuous flow technology of hard rock and ore mining. *Vzryvnoe delo*, no 71/28, pp. 41–47. [In Russ].
4. *Avdeev F. A., Baron V. L., Gurov N. V., Kantor V. Kh.* *Normativnyy spravochnik po burovzryvnyym работам* [Handbook of drilling and blasting standards], Moscow, Nedra, 1986, 511 p.
5. *Baum F. A., Stanyukovich K. P., Chelyshev V. P., Shekhter B. I.* *Fizika vzryva* [Blast physics], Moscow, Nauka, 1975, 704 p.
6. *Spravochnik. Otkrytye gornye raboty* [Handbook. Open pit mining], Moscow, Gornoe byuro, 1994, 590 p.
7. *Belin V. A., Kutuzov B. N., Ganopol'skiy M. I.* *Tekhnologiya i bezopasnost' vzryvnykh работ* [Technology and safety of blasting], Moscow, Gornoe delo; Kimmeryiskiy tsentr, 2016, 424 p.
8. *Overchenko M. N., Mozer S. P.* Improvement of blasting using Orica's electric initiating systems. *Vzryvnoe delo*. 2017, no 118/75, pp. 125–139. [In Russ].
9. *Sivukhin D. V. Obshchiy kurs fiziki. T. 2. Termodinamika i molekulyarnaya fizika. 5 izd.* [Guidelines on physics. Vol. 2. Thermodynamics and molecular physics. 5th edition], Moscow, Fizmatlit, 2005, 544 p.
10. *Anisimov V. N., Belin V. A., Dugartsyrenov A. V.* Dust and gas suppression in large-scale massive blasting in open pit mines using fine dispersion water curtains. *Gornyy zhurnal*. 2007, no 12, pp. 101–103. [In Russ].
11. *Schoch S., Nordin-Bates K., Nikiforakis N.* An eulerian algorithm for coupled simulations of elastoplastic-solids and condensed-phase explosives. *Journal of Computational Physics*. 2013. Vol. 252, pp. 163–194.

12. Kozyrev S., Alenichev I., Kamyansky V. Particularities of destruction of out-contour rock mass associated with blasting the system of borehole charges. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2017. Vol. 17, no 13, pp. 653–659.
13. Xiaodong Fu, Qian Sheng, Yonghui Zhang, Jian Chen Application of the discontinuous deformation analysis method to stress wave propagation through a one-dimensional rock mass. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015, Vol. 80, pp. 155–170.
14. Kutuzov B. N. *Metody vedeniya vzryvnykh robot*. Ch. 1. Razrushenie gornykh porod vzryvom [Methods of blasting. Part 1. Explosive fracture of rocks], Moscow, Izd-vo MGGU, 2009, 471 p.
15. Il'in V.P., Valeshniĭ S.I., Sosnin V.A. Emulsion industrial explosives in Russia. *Vzryvnoe delo*. 2012, no 108/65, pp. 174–190. [In Russ].
16. Kolganov E.V., Sosnin V.A. *Emul'sionnyye promyshlennyye vzryvchatyye veshchestva* [Emulsion industrial explosives], Dzerzhinsk, Izd-vo GosNII «Kristall», 2009, 592 p.
17. Mishra A., Rout M., Singh D.R., Jana S. Influence of density of emulsion explosives on its velocity of detonation and fragmentation of blasted muckpile. *Current Science (India)*. 2017. Vol. 112, no 3, pp. 602–608.
18. Balakrishnan V., Pradhan M. Performance analysis of using discarded water bottles in explosive column for surface mine blasts. *Chemical Engineering Transactions*. 2018, Vol. 67, pp. 211–216.
19. Koul R. *Podvodnyye vzryvy* [Underground blasts], Moscow, Izd-vo inostrannoy literatury, 1959, 494 p.
20. Khristoforov B.D., Shirokov E.A. Parameters of shock wave in underground blasting. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*. 1962, no 5, pp. 48–52.
23. Dang Van Kien. Investigation blasting vibration during excavation tunnel by drilling and blasting method in the urban conditions by two-dimension model. *Journal of Mining Industrial. Ha Noi*. 2014. No 6. Pp. 7–12.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Оверченко Михаил Николаевич¹ — канд. техн. наук,
генеральный директор,
Толстунев Сергей Андреевич — канд. техн. наук,
руководитель отделения МАНЭБ, e-mail: tsaa09@mail.ru,
Мозер Сергей Петрович¹ — канд. техн. наук,
руководитель отдела обучения, e-mail: sergey.mozer@Орика.com,
Белин Владимир Арнольдович — д-р техн. наук, профессор, ГИ НИТУ «МИСиС»,
Президент АНО НОИВ, e-mail: bvamggu@mail.ru,
¹ АО «ОРИКА СИАЙЭС», Москва, Россия.
Для контактов: Белин В.А., e-mail: bvamggu@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.N. Overchenko¹, Cand. Sci. (Eng.), General Director,
S.A. Tolstunov, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department,
International Academy of Ecology, Man and Nature (IAEMN),
Saint-Petersburg, Russia, e-mail: tsaa09@mail.ru,
S.P. Mozer¹, Cand. Sci. (Eng.), Training Superintendent,
e-mail: sergey.mozer@Орика.com,
V.A. Belin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mining Institute,
National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia,
President ANO NOIV, e-mail: bvamggu@mail.ru.
¹ JSC «Orica CIS», Moscow, Russia
Corresponding author: V.A. Belin, e-mail: bvamggu@mail.ru.

Получена редакцией 08.08.2019; получена после рецензии 16.09.2019; принята к печати 20.01.2020.
Received by the editors 08.08.2019; received after the review 16.09.2019; accepted for printing 20.01.2020.