ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ

УДК 622.235:539.3

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-5-13

Новый аспект развития и применения взрывных работ в современных условиях разработки месторождений полезных ископаемых

Викторов С. Д.¹, Закалинский В. М.^{1*}, Шиповский И. Е.¹, Мингазов Р. Я.¹

¹ Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук, г. Москва, Россия

*e-mail: vmzakal@mail.ru

Реферат

Введение. Метод использования фактора короткозамедленного инициирования при взрывной отбойке и его эффективность можно охарактеризовать направлением его технических возможностей применения от междурядных до современных внутрискважинных интервалов замедлений. В то время как современный уровень разработки техники и устройств для взрывных работ достиг возможности реализации технологии исполнения внутрискважинного замедления, исследование различных аспектов данного метода в натурных производственных условиях весьма актуально и представляет крайне сложную задачу.

Методология. В данной работе проводится анализ вариантов взрывной отбойки, а также конструкций скважинных зарядов на предмет изыскания новых, более эффективных способов их реализации в современных условиях. Был выбран один из известных способов, характеризующийся одновременным сочетанием собственно самого способа взрывной отбойки и нетрадиционной конструкции скважинного заряда. На его примере рассматривается возможность расширения практического диапазона выбранных схем размещения зарядов. В данной работе (впервые) представлена гипотеза, заключающаяся в возможности достижения одинакового эффекта в двух различных конструкциях скважинных зарядов, но «действующих» в практически одинаковом диапазоне использования короткозамедленного инициирования (КЗВ). Дело в том, что «вертикальные» расстояния между внутрискважинными короткозамедленными детонаторами в обычном скважинном заряде (в данном случае одинарном) и «горизонтальные» между параллельно сближенными скважинами пучка практически одинаковы. Это позволяет перенести исследование механизма КЗВ в зарядах с его «внутреннего» содержания на «внешнее» и для прояснения особенностей этих механизмов привлечь возможности компьютерного моделирования. Такой подход, ввиду известной специфики проведения и сложности экспериментальных исследований взрыва в производственных условиях, практически наиболее осуществим и единственно приемлем.

Результаты. Проверку различных способов взрывания (детонации) предлагается провести на основе реализации идеи замены (трансформации, переноса) действия взрыва детонаторов (одного или нескольких) в одинарном скважинном заряде (условно большого диаметра) на детонацию (одного или нескольких) рядов пучка сближенных скважинных зарядов соответствующего малого диаметра. С увеличением количества различных вариантов разнообразных форм конструкций пучковых зарядов существенно расширяется диапазон вариантов исследований, которые могут привести к результатам с повышенным качеством. Для достижения этой цели проведено исследование действия различных конфигураций компоновки зарядов с внутрирядным короткозамедленным взрыванием в пучке, что должно выявить рекомендации по управлению взрывом.

Выводы. Предлагаемые схемы взрывания, с одной стороны, характеризуют технологический отход от традиционной круговой формы взрывной волны, с другой – позволяют использовать найденный в процессе численного эксперимента эффект для различных целей, в частности, для

влияния (взаимодействия) взрывных работ на конструктивные особенности различных способов и производственных систем разработки полезных ископаемых в условиях сложной геомеханической обстановки.

Ключевые слова: *взрывчатое вещество; скважинный заряд; форма взрывной волны; короткозамедленное взрывание; массив горной породы; метод сглаженных частиц; напряженно-деформированное состояние (НДС); конфигурация пучка скважинных зарядов; детонаторы.*

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 18-05-00912.

Цель работы. Современные способы разработки месторождений полезных ископаемых характеризуются как новыми хозяйственно-экономическими условиями, так и обстоятельствами природно-технического характера, связанными с увеличением глубины разработки, проблемами обеспечения современным оборудованием и материалами, разобщенностью месторождений на больших территориях и т. д. В частности, на примере проблемы инициирования скважинных зарядов, непосредственно связанной с техническими возможностями и способами их одновременного взрывания, можно, как на новом аспекте, рассмотреть перспективу развития и применения взрывных работ в современных условиях разработки месторождений полезных ископаемых.

Каждый исторический период был ознаменован своими средствами и приемами, суть которых представляла одну и ту же идею: организовать некоторую последовательность взрывания зарядов различного предназначения для решения той или иной инженерно-технической задачи военного или гражданского предназначения [1]. В техническом плане обнаруживалась одна и та же тенденция: время условного замедления между подрывами зарядов постепенно сокращалось по мере развития соответствующих технических средств и достижения эффективности взрывных работ. Таким образом дело дошло до широкого использования в горных работах так называемого короткозамедленного взрывания, которое трактуется как взрывание серии зарядов с интервалами во времени, исчисляемыми тысячными долями секунды (миллисекундами). Взрывание каждого последующего заряда происходит в момент, когда часть горной массы уже частично нарушена взрывом предыдущего заряда, но действие напряжений в массиве еще продолжается. Короткозамедленное взрывание существенно влияет на грансостав горной массы и снижает сейсмическое действие взрывов, что по сути является его основными определяющими особенностями [2].

Методология проведения исследований. Метод использования фактора короткозамедленного инициирования при взрывной отбойке и его эффективность можно охарактеризовать областью реализации его технических возможностей как для традиционных междурядных, так и для современных внутрискважинных интервалов замедлений. Несмотря на то что современный уровень разработки техники и устройств для взрывания достиг возможности реализации технологии исполнения внутрискважинного замедления, исследование различных аспектов данного метода в условиях натурных производственных экспериментов весьма актуально, но организация экспериментов представляет крайне сложную задачу. В связи с этим проводится анализ новых способов взрывной отбойки и конструкций скважинных зарядов на предмет изыскания более эффективных конкретных возможностей и методик их исследований в современных условиях. В результате был выбран один из известных способов, характеризующийся одновременным сочетанием преимуществ собственно самого традиционного способа взрывной отбойки и возможностей использования нетрадиционных компоновок конструкций скважинного заряда. При этом прослеживается возможность расширения

диапазона его практического применения. Пучок сближенных скважинных зарядов, выбранный для целей исследования, обычно характеризуется одновременным взрыванием (детонацией) всего комплекта конфигурации его скважинных зарядов. Взрывная энергия этого пучка зарядов эквивалентна по энергии действию одиночного скважинного заряда соответствующего диаметра, что условно позволяет его называть, в нашей интерпретации, общим термином «одинарный» заряд. В данном случае представляется возможность подтверждения гипотезы о достижении одинакового эффекта в двух различных конструкциях скважинных зарядов, но «действующих» в практически одинаковом диапазоне использования короткозамедленного инициирования. Смысл такой схемы в том, что «вертикальные» расстояния между внутрискважинными короткозамедленными детонаторами в обычном скважинном заряде (в данном случае одинарном) и «горизонтальные» между параллельно сближенными скважинами пучка практически одинаковы [3]. Этим достигается перенос исследования механизма КЗВ в зарядах с «внутреннего» содержания на «внешнее», что позволяет в качестве инструмента исследования привлечь компьютерное моделирование. Суть исследования – в проверке эффективности замены (трансформации, переноса) действия взрыва

Таблица 1. Выборочные данные компьютерного эксперимента. Характерное время измерения – 3,5 мс

Table 1. Selected data from the computer experiment. Characteristic time of measurement is 3.5 ms

Взрыв зарядов различной формы	Скорость смещения $V \cdot 10^{-3}$, м/мс, в периферийной точке				Давление в центре заряда, МПа	Давление в периферийной точке заряда, МПа			
	№ 2	№ 5	№ 3	№ 4	№ 1	№ 2	№ 5	№ 3	№ 4
Линейный и параболический ряды взрываются одновременно	–8,6	13,6	–12	10,6	1921,22	0	0,310	0,3	0,2
Одинарный эквивалентный скважинный заряд	–9	8	–7	8	3414,21	0,4	–0,36	–0,2	0,5

детонаторов (одного или более) короткозамедленного действия в одинарном скважинном заряде условно большого диаметра на детонацию одного или нескольких рядов пучка сближенных скважинных зарядов соответствующего малого диаметра. Осуществить такую проверку, ввиду известной специфики проведения взрывных экспериментальных исследований в производственных условиях, практически возможно только посредством компьютерного моделирования. Исходя из большого количества сочетаний различных форм конструкции пучковых зарядов существенно расширяется диапазон вариантов исследования с получением новых данных. Например, представляет интерес возможность управлять направленным действием взрыва путем подбора (задания) определенной конфигурации процесса внутривзрывного короткозамедленного взрывания в пучке зарядов. Это, с одной стороны, характеризует технологический отход от традиционной круговой формы взрывной волны. С другой стороны, позволит использовать этот эффект для различных целей, в частности, для влияния (взаимодействия) взрывных работ на конструктивные особенности различных способов и систем разработки полезных ископаемых в условиях сложной геомеханической обстановки. При одинаковой энергоёмкости одинарного заряда и «варианта пучка»

действие последнего должно принципиально отличаться характерными, присущими только ему дополнительными (новыми) возможностями. Для выявления таких отличий в работе используется компьютерное моделирование.

В настоящее время имеется целый арсенал средств автоматизированного воспроизводства различных интервалов времени замедления. Практически все научно-технические задачи горного производства сводятся к достижению максимального эффекта от оптимизации применения указанных средств.

Рис. 1. Конфигурация двухрядного одинарного заряда – *a* и характер процесса его взрыва (сверху ряд линейных, снизу ряд параболической формы сближенных зарядов пучка) при их одновременном (в данном случае) инициировании; *b* – сравнительный одинарный заряд эквивалентной энергии

Fig. 1. Configuration of a two-line single charge – *a* and the character of the blasting procedure (a line of the linear ones on top and a line of parabolic converged charges in a beam at the bottom) under their simultaneous (in this instance) initiation; *b* – reference single blast of equivalent power

В данном исследовании речь идет о задаче другого свойства, а именно: рассмотреть различные варианты использования короткозамедленного взрывания с целями:

- выявить образование и распространение в определенных пределах различных некруговых в сечении (нецилиндрических) форм взрывных волн, формирующихся от взрыва обычных скважинных зарядов круговой (круглой) в сечении формы и имитирующих таким образом технологию получения в массовом порядке удлиненными зарядами ВВ взрывных волн практически любой формы [4];

- оценить корреляцию между неравномерностью некоторых форм взрывной волны и неравномерностью направленности ее энергии (перераспределение), например по принципу кумулятивного эффекта;

- выбрать наиболее оптимальные конструктивные элементы систем разработки с учетом эффективного использования направленного взрывания в условиях тектонических напряжений и динамических явлений в массивах горных пород [5, 6].

Результаты и обсуждение. Для решения поставленных задач и анализа результатов, с одной стороны, из всего разнообразия современных приемов и способов производства был выбран наиболее подходящий известный способ взрывных работ, с другой – использовалась методология компьютерного моделирования численного решения упругопластических задач механики сплошной среды на основе метода сглаженных частиц SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) [7, 8].

Способ взрывных работ представлен конструкцией пучка сближенных скважинных зарядов, эквивалентных по массе одинарному скважинному заряду, что

при взрыве в обоих случаях воспринимается как взрыв одного заряда [9, 10]. В данном эксперименте был выбран двухрядный пучок параболической формы. По методике производились порядные и одновременные «взрывы» пучка в сравнении с одинарным эквивалентным «скважинным зарядом». Результаты в виде физических величин (параметров волны напряжения) – массовой скорости и давления на фронте волны – фиксировались в четырех противоположных точках контура «взрывания», что частично представлено в табл. 1, на рис. 1 и рис. 2.

Рис. 2. График изменения скорости смещения в различных точках (а, б, в – соответственно верхняя, нижняя, боковая правая точки, г – симметричная точка одинарного заряда) среды вокруг исследуемых конструкций различных зарядов

Fig. 2. Graph of shift velocity behavior in different points (а, б, and в are the upper, middle, and lower points correspondingly, г is a symmetrical point of a single charge) of the medium around the structures of various charges under consideration

Согласно методологии применения метода сглаженных частиц SPH выбор граничных точек по сторонам действия взрыва обуславливает характер его действия, связанный с выходом распространяющейся по твердому телу взрывной волны (волны напряжений) на свободную поверхность [11, 12]. Известно, что при переходе через взрывную ударную волну должны выполняться общие законы сохранения массы, импульса и энергии. Законы сохранения массы и импульса связывают между собой четыре параметра фронта взрывной волны: скорость распространения волны по невозмущенному веществу D , скачок массовой скорости u , равный скорости движения сжатого вещества относительно невозмущенного,

давление p и удельный объем V (или плотность $\rho = 1/V$). Сжатое вещество расширяется (разгружается) практически до нулевого давления. При этом волна разгрузки (разрежения) распространяется назад по веществу со скоростью звука, соответствующей состоянию за фронтом взрывной волны, а само разгружающееся вещество приобретает дополнительную скорость в направлении первоначального движения взрывной волны. Вещество разгружается до своего минимального давления. Из анализа представленных графиков и других материалов исследования следует существенная разница измеряемых параметров фронта взрывной волны в противоположных граничных точках в сравниваемых модельных образцах конструкций зарядов [13, 14]. Это свидетельствует о реальной технической возможности управления действием взрыва (направленным его действием) методом инициирования различных рядов сближенных скважинных зарядов [15, 16].

Таким образом, экспериментальные данные, ограниченные рамками статьи, подтвердили наличие достижения эффекта направленного действия взрыва удлиненным одинарным скважинным зарядом, который получен при модельном исследовании из реального диапазона инициирования скважинных зарядов. От подобных известных попыток его отличает безусловная технологичность, когда его «исполнение» полностью базируется на применении имеющейся на горном предприятии буровой техники и практики буровзрывных работ [17, 18].

Следствие полученного результата (эффекта) может быть использовано при проектировании параметров систем и способов разработки месторождений полезных ископаемых в сложных условиях. Предварительно должны быть установлены параметры влияния (взаимодействия) взрывных работ на конструктивные особенности различных способов и систем разработки полезных ископаемых для конкретных горнотехнических условий с учетом особенностей геомеханической обстановки.

Выводы. На основании установления физического аспекта по результатам модельного исследования новых особенностей инициирования скважинных зарядов определена концептуальная возможность взаимодействия взрывных работ, способов и систем разработки полезных ископаемых в условиях сложной геомеханической обстановки. В рамках нового научно-технического направления это позволит повысить эффективность комплексной разработки месторождений полезных ископаемых через взаимодействие (управление, влияние) между процессами взрывных работ различного масштаба и назначения и напряженно-деформированными состояниями массивов горных пород.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубецкой К. Н., Захаров В. Н., Викторов С. Д., Жариков И. Ф., Закалинский В. М. Взрывное разрушение горных пород при освоении недр // Проблемы недропользования. 2014. № 3. С. 80–95.
2. Барон Л. И., Докучаев М. М., Васильев Г. А., Дороницева Л. А. Взрывные работы в горнорудной промышленности. М.: Госуд. науч.-техн. изд-во литер. по горн. делу, 1960. 182 с.
3. Совершенствование скважинной отбойки / А. В. Будько и [др.]. М.: Недра, 1981. 199 с.
4. Механика сдвижения и разрушения горных пород / С. Д. Викторов и [др.]. М.: РАН, 2019. 360 с.
5. Толстик А. М. Некоторые методические вопросы применения компьютерного эксперимента в физическом образовании // Физическое образование в вузах. 2006. Т. 12. № 2. С. 76–84.
6. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / П. А. Бутырин и [др.]. М.: ДМК Пресс, 2005. 264 с.
7. Глазова Е. Г., Кочетков А. В., Турыгина И. А. Численное моделирование пространственного взаимодействия ударной волны с проницаемой преградой // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2014. № 1(1). С. 180–185.
8. Шиповский И. Е. Расчет хрупкого разрушения горной породы с использованием бессеточного метода // Научный вестник НГУ. 2015. Вып. 1(145). С. 76–82.
9. Еременко А. А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2013. 192 с.
10. Zharikov S., Kutuev V. About order of comprehensive solving the seismic and pre-splitting issues for drill-and-blastin open-pits. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds). Trigger effects in geosystems. Springer

Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, 2019. P. 437–445. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0_46

11. Trofimov V. A., Malinnikova O. N., Wen-Jie Xu. Numerical approach to computer simulation of landslid events // AIP Conference Proceedings 2167, 020329 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5132196>. Published Online: 19 November 2019. Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2019. Conference date: 1–5 October 2019, Tomsk, Russia. P. 020329-1–020329-8. DOI:10.1063/1.5132196

12. Bai H. and Zhang Z. Test and application of the hole-bottom interval charging technology in Myanmar Kyisintaung mine // Engineering Blasting. 2017. No. 23(5). P. 63–66.

13. Lin Z. and Zhang S. Study on the blasting effect of water cushion charge in openpit mine // Chinese Journal of Mining Research and Development. 2017. No. 37(9). P. 40–43.

14. Liu C., Yang J. and Yu B. Rock-breaking mechanism and experimental analysis of confined blasting of borehole surrounding rock // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. No. 27(5). P. 795–801.

15. Xin-Jian Li, Jun Yang, Xiao Zheng. Numerical simulation of radial decoupling charge with Ansys-Autodyn // Topics in Civil, Environmental & Building Engineering (TICEBE). 2017. No. 1(2). P. 78–81.

16. Woldemichael D. E., Abdul Rani A. M., Lemma T. A. and Altaf K. Numerical simulation of rock cutting using 2D Autodyn // 3rd International Conference of Mechanical Engineering Research (ICMER 2015). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015. 100. 012052.

17. Лаврентьев М. А. Кумулятивный заряд и принцип его работы // Успехи математических наук. 1957. Т. 12. Вып. 4. С. 12–16.

18. Галченко Ю. П. Об эффекте кумуляции при разрушении горных пород децентрализованными зарядами // Записки Горного института. 2007. Т. 171. С. 167–174.

Поступила в редакцию 25 июня 2020 года

Сведения об авторах:

Викторов Сергей Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук. E-mail: victorov_s@mail.ru

Закалинский Владимир Матвеевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук. E-mail: vmzakal@mail.ru

Шиповский Иван Евгеньевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук. E-mail: shipovskiy_i@ipkonran.ru

Мингазов Рафаэль Якубович – ведущий инженер Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук. E-mail: mingazov_r@ipkonran.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-5-13

New aspect of drilling development and application in today's mineral extraction

Sergei D. Viktorov¹, Vladimir M. Zakalinskii¹, Ivan E. Shipovskii¹, Rafael Ia. Mingazov¹

¹ Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Abstract

Introduction. The method of applying the factor of short period delay initiation in rock blasting and its effectiveness can be substantiated by the technical possibility of applying it for both conventional inter-row and current downhole delay intervals. The state of the art in blasting has made it possible to implement the technology of a short period delay. So it is rather relevant and extremely difficult to study of the technology's aspects in full-scale production conditions.

Methodology. This work analyzes the options for rock blasting and blasthole charges designs in order to find out how to implement them in a new and more effective way in modern conditions. A well-known method has been chosen, which combines the rock blasting method and the unconventional design of the blasthole charge. It is used as an example to demonstrate the possibility of expanding the practical range of the selected charge placement schemes. This work has been the first to introduce a hypothesis on the possibility of achieving the same effect in two different designs of blasthole charges, but "acting" in almost the same range of short period delay (SPD) use. The fact is that "vertical" distances between downhole short-delay detonators in a conventional blasthole charge (in this case, a single charge) and "horizontal" distances between parallel converged wells of a beam are almost the same. In this regard, it has become possible to focus not on its "internal" content on the "external" one and explain the features of these mechanisms by means of computer simulation. Due to the apparent specific character of conducting a blast in production conditions and intricate experimental observation, this approach is more realizable in practice and the only possible one.

Results. It is proposed to test various methods of blasting (detonation) based on the idea of replacing (transforming, transferring) the explosion action of detonators (≥ 1) in a single well charge (conventionally large diameter) with the detonation of (≥ 1) lines of a beam of converged borehole charges of the corresponding small diameter. As soon as the number of beam charge design options increases, the range of research options that can lead to the results with improved quality expands significantly. To achieve this goal, the action of various configurations of charges with in-line short period delay blasting in a beam was studied. It should make it possible to come up to some recommendations for blast control.

Summary. On the one hand, the proposed blast patterns show the technological departure from the traditional circular shape of the blast wave, on the other hand, they allow using the effect found in the course of numerical experiment for various purposes, in particular, to ensure blasting effect on (interaction with) design features of various mining methods and production systems in complex geomechanical environment.

Key words: explosive; blasthole charge; blast wave shape; short period delay blasting; rock mass; smoothed particle method; stress-strain state (SSS); configuration of blasthole charges beam; detonators.

Acknowledgements. The research has been financially supported by RFBR under project no. 18-05-00912.

REFERENCES

1. Trubetskoi K. N., Zakharov V. N., Viktorov S. D., Zharikov I. F., Zakalinskii V. M. Explosive destruction of rocks during mining. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2014; 3: 80–95. (In Russ.)
2. Baron L. I., Dokuchaev M. M., Vasiliev G. A., Doronicheva L. A. *Blasting operations in the mining industry*. Moscow: Gosud. nauch.-tekhn. izd-vo liter. po gorn. delu Publishing; 1960. (In Russ.)
3. Budko A. V. et al. *Improvement of borehole drilling*. Moscow: Nedra Publishing; 1981. (In Russ.)
4. Viktorov S. D. et al. *Mechanics of movement and destruction of rocks*. Moscow: RAS Publishing; 2019. (In Russ.)
5. Tolstik A. M. The methodical questing of employment of computer experiments in physical education. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh = Physics in Higher Education*. 2006; 12(2): 76–84. (In Russ.)
6. Butyrin P. A. et al. *Automation of physical research and experiment: computer measurements and virtual devices based on LabVIEW 7*. Moscow: DMM press Publishing; 2005. (In Russ.)
7. Glazova E. G., Kochetkov A. V., Turygina I. A. Numerical simulation of the spatial interaction of a shock wave with a permeable barrier. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2014; 1(1): 180–185. (In Russ.)
8. Shipovskii I. E. Simulation for fracture by smooth particle hydrodynamics code. *Nauchnyi vestnik NGU = Scientific Bulletin of National Mining University*. 2015; 1 (145): 76–82. (In Russ.)
9. Eremenko A. A. *Improving the technology of drilling and blasting operations on iron ore deposits in Western Siberia*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 2013. (In Russ.)
10. Zharikov S., Kutuev V. About order of comprehensive solving the seismic and pre-splitting issues for drill-and-blastin open-pits. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds). *Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. Springer, Cham, 2019, pp. 437–445.
11. Trofimov V. A., Malinnikova O. N., Wen-Jie Xu. Numerical approach to computer simulation of landslide events. In: *AIP Conference Proceedings*. 2167, 020329 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5132196>. Published Online: 19 November 2019. *Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2019*. Conference date: 1–5 October 2019, Tomsk, Russia. P. 020329-1–020329-8.
12. Bai H. and Zhang Z. Test and application of the hole-bottom interval charging technology in Myanmar Kyisintaung mine. *Engineering Blasting*. 2017; 23(5): 63–66.
13. Lin Z. and Zhang S. Study on the blasting effect of water cushion charge in openpit mine. *Chinese Journal of Mining Research and Development*. 2017; 37(9): 40–43.
14. Liu C., Yang J. and Yu B. Rock-breaking mechanism and experimental analysis of confined blasting of borehole surrounding rock. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017; 27(5): 795–801.
15. Xin-Jian Li, Jun Yang, Xiao Zheng. Numerical simulation of radial decoupling charge with Ansys-Autodyn. In: *Topics in Civil, Environmental & Building Engineering (TICEBE)*. 2017; 1(2): 78–81.
16. Woldemichael D. E., Abdul Rani A. M., Lemma T. A. and Altaf K. Numerical simulation of rock cutting using 2D Autodyn. In: *3rd International Conference of Mechanical Engineering Research (ICMER 2015)*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015; 100: 012052.
17. Lavrentiev M. A. Cumulative charge and the principle of its operation. *Uspekhi matematicheskikh nauk = Russian Mathematical Surveys*. 1957; 12 (4): 12–16. (In Russ.)
18. Galchenko Iu. P. On the effect of cumulation in the destruction of rocks by deconcentrated charges. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2007; 171: 167–174. (In Russ.)

Information about authors:

Sergei D. Viktorov – DSc (Engineering), Professor, Deputy Director for Science, N. V. Melnikov Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences. E-mail: victorov_s@mail.ru

Vladimir M. Zakalinskii – DSc (Engineering), leading researcher, N. V. Melnikov Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences. E-mail: vmzakal@mail.ru

Ivan E. Shipovskii – PhD (Engineering), senior researcher, N. V. Melnikov Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences. E-mail: shipovskiy_i@ipkonran.ru

Rafael Ia. Mingazov – lead engineer, N. V. Melnikov Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences. E-mail: mingazov_r@ipkonran.ru

Для цитирования: Викторов С. Д., Закалинский В. М., Шиповский И. Е., Мингазов Р. Я. Новый аспект развития и применения взрывных работ в современных условиях разработки месторождений полезных ископаемых // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 6. С. 5–13. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-5-13

For citation: Viktorov S. D., Zakalinskii V. M., Shipovskii I. E., Mingazov R. Ia. New aspect of drilling development and application in modern conditions of mineral deposits exploitation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 6: 5–13 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-5-13