

Влияние эмульсионных взрывчатых веществ на скорость детонации скважинного заряда

В.И. Мишнеv¹✉, А.Ю. Плотников², Ал.А. Галимьянов¹, Е.Н. Казарина¹, Ан.А. Галимьянов¹, К.В. Гевало¹

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация

² ООО «АВТ-Амур», г. Благовещенск, Российская Федерация

✉ vovchenskiygf@gmail.com

Резюме: Входной контроль взрывчатых материалов и измерение скорости детонации заряда имеют большое значение при производстве взрывных работ. Скорость детонации заряда взрывчатых веществ как одна из важнейших его характеристик, влияющих на качество взрыва, зависит от многих факторов, основными из которых являются: качество приготовления взрывчатых веществ и их компонентов. Неправильно подобранные параметры буровзрывных работ и низкое качество приготовления взрывчатых веществ приводят к снижению скорости детонации вплоть до отказов детонации. В свою очередь, отказы детонации ведут к увеличению материальных затрат и повышению уровня риска негативных событий, связанных с безопасностью при обращении со взрывчатыми материалами. Правильный подход к предварительному контролю качества с применением соответствующих измерений позволит повысить эффективность и безопасность подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом. В статье приведена методика проведения измерений скорости детонации скважинного заряда с соответствующими результатами и выводами, позволяющими своевременно принимать меры по поддержанию скорости детонации взрывчатых веществ на необходимом уровне.

Ключевые слова: измерение скорости детонации заряда взрывчатых веществ, параметры буровзрывных работ, поверхностно-активные вещества, импульсная рефлектометрия

Благодарности: Исследования проводились с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.

Для цитирования: Мишнеv В.И., Плотников А.Ю., Галимьянов Ал.А., Казарина Е.Н., Галимьянов Ан.А., Гевало К.В. Влияние эмульсионных взрывчатых веществ на скорость детонации скважинного заряда. *Горная промышленность*. 2022;(6):69–73. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-69-73>

The effect of emulsion explosives on the completeness of the detonation of the borehole charge

V.I. Mishnev¹✉, A.Y. Plotnikov², Al.A. Galimyanov¹, E.N. Kazarina¹, An.A. Galimyanov¹, K.V. Gevalo¹

¹ Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation

² LLC "AVT-Amur", Blagoveschensk, Russian Federation

✉ vovchenskiygf@gmail.com

Abstract: The input control of explosive materials and the measurement of the detonation rate of the charge are important in the production of explosive work. The detonation rate of the explosive charge, as one of its most important characteristics affecting the quality of the explosion, depends on many factors, the main of which are: the quality of preparation of explosives and their components. Incorrectly selected parameters of drilling and blasting operations and poor quality of preparation of explosives lead to a decrease in the detonation rate up to detonation failures. In turn, detonation failures lead to an increase in material costs and an increase in the risk of negative events related to safety when handling explosive materials. The correct approach to preliminary quality control with the use of appropriate measurements will improve the efficiency and safety of preparing the rock mass for excavation by drilling and blasting. The article presents a technique for measuring the detonation velocity of a borehole charge with the corresponding results and conclusions, allowing timely measures to be taken to maintain the detonation velocity of explosives at the required level.

Keywords: measuring the detonation rate of an explosive charge, parameters of drilling and blasting operations, surfactants, pulse reflectometry

Acknowledgements: The studies were carried out using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment "Center for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences", funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project No. 075-15-2021-663.

For citation: Mishnev V.I., Plotnikov A.Y., Galimyanov Al.A., Kazarina E.N., Galimyanov An.A., Gevalo K.V. The effect of emulsion explosives on the completeness of the detonation of the borehole charge. *Russian Mining Industry*. 2022;(6):69–73. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-69-73>

Введение

Скорость распространения детонационной волны – важнейший параметр, определяющий действие взрыва в режиме реального времени. С развитием систем мониторинга взрыва в последнее время стал доступен широкий спектр средств измерений [1; 2], основанных в том числе на методе импульсной рефлектометрии, а также реостатном, контактном и электромагнитном [3] принципах. Измерение скорости детонации (D) в скважинах помогает сравнивать и оценивать относительные характеристики взрывчатых веществ (ВВ). На скорость детонации смесевых ВВ влияют параметры буровзрывных работ: плотность заряжения ВВ; диаметр и длина заряда; расположение боевиков по колонке заряда и их параметры [4; 5], расслоение состава ЭВВ, в том числе диаметр и параметры промежуточного детонатора. Следует подчеркнуть, что в России и мире объем потребления смесевых ВВ (эмульсии, АС-ДТ), уступающих по устойчивости детонации индивидуальным ВВ [6], превышает 80% от общего объема потребления ВВ [7].

Буровзрывные работы (БВР) на разных горнодобывающих предприятиях ведутся при отличных друг от друга горно-геологических условиях и параметрах БВР. Соответственно, в отсутствие привязки параметров БВР к натурным измерениям D качество подготовки горной массы к выемке может быть значительно ниже относительно БВР с предварительным производством измерений D [8]. Проведёнными исследованиями подтверждается расхождение номинальных (указанных заводом изготовителем) значений D от значений, полученных инструментальными методами в полевых условиях [9–11].

Предмет исследования

Сотрудниками ИГД ДВО РАН совместно с работниками ООО «АВТ-Амур» проведены работы по измерению скорости детонации скважинных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) на двух взрывных блоках. Период заряжения скважин первого блока составил 5 дней, второго блока – 11 дней.

Параметры БВР

Основные показатели: коэффициент крепости массивов по шкале проф. М.М. Протодяконова – 6–12; высота уступа на вскрыше – 10 м; высота уступа на добыче руды – 5 м; буровое оборудование: станки фирмы «Atlas Copco» DM-45-50 HP-LP, DML; способ бурения вращательно-ударный (шарошечный); диаметр скважин – 215 мм; взрывчатое вещество – Нитронит Э-70, оборудование для заряжения скважин – СЗМ «Универсал»; угол откоса уступа – 65°;

Применяемые измерительные приборы и принцип работы

Для измерений скорости детонации скважинного заряда ВВ применялся прибор VoD-305 производства **ShotTrack Pty Ltd** (Австралия).

Принцип работы VoD-305 основан на методе импульсной рефлектометрии, а именно на эффекте изменения волнового сопротивления при уменьшении длины коаксиального кабеля посредством непосредственного воздействия на проводник детонационной волны скважинного заряда. Имеется возможность замера скорости детонации заряда сразу нескольких скважинных зарядов на взрывном блоке. Прибор оснащен GPS приемником для привязки к местности и времени. Маркировка 305 означает максимальную длину возможно применяемого коаксиального

кабеля. Имеется возможность замера скорости детонации сразу нескольких скважинных зарядов на взрывном блоке. Частота дискретизации прибора:

256 000 Гц (3,9 мкс).

Производство измерений D заряда осуществлялось на двух взрывных блоках посредством установки коаксиального кабеля через три расположенные последовательно скважины каждого блока с подключением соответствующего измерительного кабеля к прибору VoD-305 (рис.1), удаленному от взрыва в безопасное место.

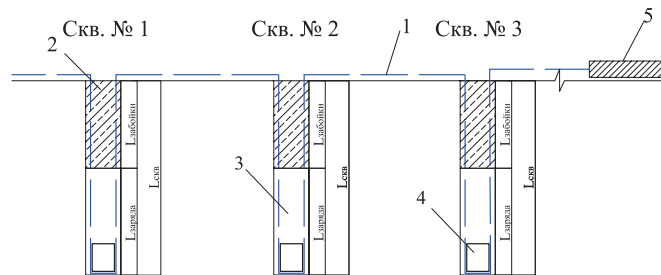


Рис. 1
Схемы монтажа измерительного кабеля:
1 – коаксиальный кабель;
2 – забойка; 3 – скважинный заряд;
4 – промежуточный детонатор;
5 – прибор VoD-305

Fig. 1
Installation diagrams of the measuring cable:
1 – coaxial cable;
2 – tamping;
3 – borehole charge;
4 – intermediate detonator;
5 – device VoD-305

После производства взрыва произведен осмотр блоков. На основании визуального обследования взорванной горной массы (ВГМ) и видеосъемки производства взрывов, зафиксировано следующее:

- отклонение кислородного баланса на втором блоке (рис. 2);



Рис. 2
Фото газового облака от взрыва блока (а – первый взрывной блок, б – второй)

Fig. 2
Photo of the gas cloud from the explosion of the block (a – first explosive block, б – the second block)



Рис. 3
Фото развала горной массы от взрыва блоков (а – первый взрывной блок, б – второй взрывной блок, где стрелками указаны прострелы скважин)

Fig. 3
Photo of the collapse of the rock mass from the explosion of blocks (a – first explosive block, б – second block, where the arrows indicate the bore holes)

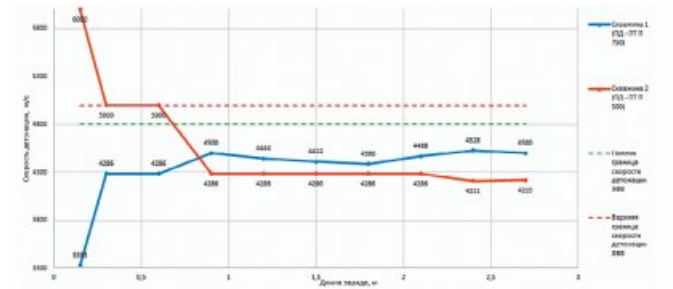


Рис. 4
Аналитический график измерений D скважинных зарядов первого блока

Fig. 4
Analytical graph of borehole D charge measurements the first block

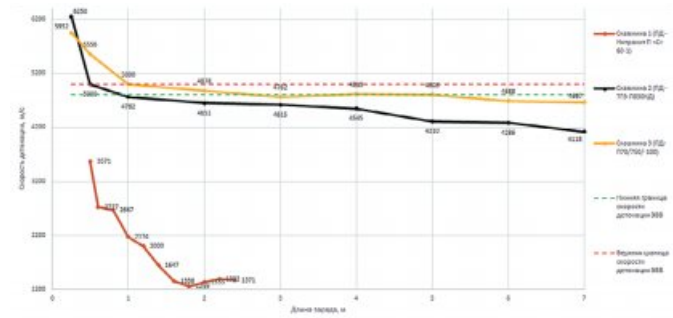


Рис. 5
Аналитический график измерений D скважинных зарядов второго блока

Fig. 5
Analytical graph of borehole D charge measurements the second block

– равномерное дробление горной массы по всей площади ВГМ на обоих исследуемых блоках (рис. 3);
– наличие прострелов (неполное срабатывание зарядов) ВВ обнаружено на втором блоке (рис. 3).

Анализ данных по результатам измерений D представлен на графиках (рис. 4, 5) и в табл. 1 и 2.

Таблица 1
Анализ данных измерений D скважинных зарядов первого блока

Table 1
Analysis of downhole charge D measurement data the first block

Скв. №	Наименование ЭВВ	Наименование ПД	Скорость детонации (D) в точке по длине скважинного заряда										Значение D заряда ЭВВ, входящее в диапазон по ТУ, %
			0,15	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	
1	Нитронит Э-70	ПТ-П 750	3333	4286	4286	4500	4444	4412	4390	4468	4528	4500	0
2		ПТ-П 500	6000	5000	5000	4286	4286	4286	4286	4286	4211	4219	
Итого:													15

Значение D заряда ЭВВ, не входящее в диапазон ТУ 7276-003-58995878-2004 (Нитронит Э-70), %;

Значение D заряда ЭВВ, входящее в диапазон ТУ 7276-003-58995878-2004 (Нитронит Э-70), %.

Таблица 2
Анализ данных измерений D скважинных зарядов второго блока

Table 2
Analysis of downhole charge D measurement data the second block

Скв. №	Наименование ЭВВ	Наименование ПД	Скорость детонации (D) в точке по длине скважинного заряда							Значение D заряда ЭВВ, входящее в диапазон по ТУ, %		
			0,25	0,5	1	2	3	4	5		6	7
1	Нитронит Э-70	ТГЭ-П830КД	6250	5000	4762	4651	4615	4545	4310	4286	4118	22,2
2		ПД-П70/750/-100	5952	5556	5000	4878	4762	4819	4808	4688	4667	66,7
		Нитронит П «С»-60-1		3571	2174	1333						
Итого:										44,45		

Значение D заряда ЭВВ, не входящее в диапазон ТУ 7276-003-58995878-2004 (Нитронит Э-70), %;

Значение D заряда ЭВВ, входящее в диапазон ТУ 7276-003-58995878-2004 (Нитронит Э-70), %.

Заключение

На основании дифференцированного анализа данных скорости детонации скважинных зарядов выявлено, что суммарное количество дифференцированных значений скорости детонации ЭВВ не превышает 50% от соответствующих значений скорости детонации ЭВВ, установленных ТУ 7276-003-58995878-2004¹. Из чего следует, что детонация ЭВВ, примененного на блоках, неполная. Причины снижения скорости детонации заряда ЭВВ относительно номинальной может быть несколько, в том числе:

- качество приготовления компонентов ЭВВ;
- качество приготовления и заряжания ЭВВ;
- качество промежуточных детонаторов;
- длительное пребывание ЭВВ в скважине;
- расположение промежуточных детонаторов по колонке заряда.

¹ ТУ 7276-003-58995878-2004. Вещества взрывчатые промышленные. «Нитрониты®» Технические условия. ЗАО «Институт взрыва». 4.10.2004 г.

Для более детального анализа рекомендуется проведение измерений D открытых зарядов ЭВВ и отдельно промежуточных детонаторов разных типов и марок.

Недостаточно сбалансированная система может привести к нестабильной работе заряда вплоть до отказов детонации. А отказы детонации, в свою очередь, ведут к увеличению материальных затрат и повышению уровня риска негативных событий, связанных с безопасностью при обращении со взрывчатыми материалами.

Измерения скорости детонации зарядов ВВ дают возможность своевременно сделать анализ и при необходимости принять все меры по стабилизации работы заряда взрывчатого вещества.

Список литературы

1. Mesec J., Zganec S., Kovac I. In-hole velocity of detonation (VOD) measurements as a framework for the selection type of explosive. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(4):675–680. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.05.024>
2. Кутуев В.А., Меньшиков П.В., Жариков С.Н. Анализ методов исследования детонационных процессов ВВ. *Проблемы недропользования*. 2016;(3):78–87. Режим доступа: <https://trud.igdur.ru/index.php/psu/article/view/181>
3. Seo M., Rutter B., Johnson C.E., Torrance A., Cavanaugh G. Innovative method to measure velocity of detonation by electromagnetic pulse (EMP). In: *Helsinki Conference Proceedings*; 2019, pp. 263–273.
4. Горинов С.А. *Научно-технические основы и технологии обеспечения устойчивой детонации эмульсионных взрывчатых веществ в скважинных зарядах: дис. ... д-ра техн. наук*. Екатеринбург; 2018. 263 с. Режим доступа: <https://diss.igdur.ru/sites/default/files/disser/gorinov/gorinov.pdf>
5. Leng Z., Sun J., Lu W., Xie X., Jia Y., Zhou G., Chen M. Mechanism of the in-hole detonation wave interactions in dual initiation with electronic detonators in bench blasting operation. *Computers and Geotechnics*. 2021;129:103873. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103873>
6. Шведов К.К., Анисимов В.Н. Концепция и реальные пути создания промышленных взрывчатых веществ для качественного дробления горных пород. *Горная промышленность*. 2008;(1):26–32. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/771-kontseptsiya-i-realnye-puti-sozdaniya-promyshlennykh-vv-dlya-kachestvennogo-drobleniya-krepkikh-gornyx-porod>
7. Соснин В.А., Межеричкий С.Э., Печенер Ю.Г. Состояние и перспективы развития промышленных взрывчатых веществ в России и за рубежом. *Горная промышленность*. 2017;(5):60–64. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/prommat/13009-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-promyshlennykh-vzryvchatykh-veshchestv-v-rossii-i-za-rubezhom>
8. Добрынин И.А. Результаты измерения скорости детонации в скважинных зарядах в условиях горных предприятий. *Безопасность труда в промышленности*. 2008;(6):42–46.
9. Kabwe E. Velocity of detonation measurement and fragmentation analysis to evaluate blasting efficacy. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018;10(3):523–533. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.003>
10. Ainalis D., Kaufmann O., Tshibangu J.-P., Verlinden O., Kouroussis G. Modelling the source of blasting for the numerical simulation of blast-induced ground vibrations: a review. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017;50(1):171–193. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1101-2>
11. Balakrishnan V., Pradhan M., Dhekne P.Y. Field investigation in the detonation behavior of emulsion explosive column induced with air gaps. *Mining Science*. 2019;26:55–68. <https://doi.org/10.37190/msc192605>

References

1. Mesec J., Zganec S., Kovac I. In-hole velocity of detonation (VOD) measurements as a framework for the selection type of explosive. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(4):675–680. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.05.024>
2. Kutuev V.A., Menshikov P.V., Zharikov S.N. The analysis of methods for studying explosives' detonation processes. *Problems of Subsoil Use*. 2016;(3):78–87. (In Russ.) Available at: <https://trud.igdur.ru/index.php/psu/article/view/181>
3. Seo M., Rutter B., Johnson C.E., Torrance A., Cavanaugh G. Innovative method to measure velocity of detonation by electromagnetic pulse (EMP). In: *Helsinki Conference Proceedings*; 2019, pp. 263–273.
4. Gorinov S.A. *Scientific and technical bases and technologies for ensuring stable detonation of emulsion explosives in borehole charges. Dissertation of the Doctor of Technical Sciences*. Ekaterinburg; 2018. 263 p. (In Russ.) Available at: <https://diss.igdur.ru/sites/default/files/disser/gorinov/gorinov.pdf>

5. Leng Z., Sun J., Lu W., Xie X., Jia Y., Zhou G., Chen M. Mechanism of the in-hole detonation wave interactions in dual initiation with electronic detonators in bench blasting operation. *Computers and Geotechnics*. 2021;129:103873. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103873>
6. Shvedov K.K., Anisimov V.N. Concept and actual approach to the creation of industrial explosives for effective shattering hard rock. *Russian Mining Industry*. 2008;(1):26–32. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/771-kontseptsiya-i-realnye-puti-sozdaniya-promyshlennykh-vv-dlya-kachestvennogo-drobleniya-krepkikh-gornyx-porod>
7. Sosnin V.A., Mezheritsky S.E., Pechenev Yu.G. State and prospects of development of commercial explosives in Russia and abroad. *Russian Mining Industry*. 2017;(5):60–64. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/prommat/13009-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-promyshlennykh-vzryvchatykh-veshchestv-v-rossii-i-za-rubezhom>
8. Dobrynin I.A. The results of measuring the detonation rate in borehole charges in the conditions of mining enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2008;(6):42–46. (In Russ.)
9. Kabwe E. Velocity of detonation measurement and fragmentation analysis to evaluate blasting efficacy. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018;10(3):523–533. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.003>
10. Ainalis D., Kaufmann O., Tshibangu J.-P., Verlinden O., Kouroussis G. Modelling the source of blasting for the numerical simulation of blast-induced ground vibrations: a review. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017;50(1):171–193. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1101-2>
11. Balakrishnan V., Pradhan M., Dhekne P.Y. Field investigation in the detonation behavior of emulsion explosive column induced with air gaps. *Mining Science*. 2019;26:55–68. <https://doi.org/10.37190/msc192605>

Информация об авторах

Мишнеv Владимир Игоревич – инженер сектора разрушения горных пород Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: vovchenskiycf@gmail.com

Плотников Андрей Юрьевич – заместитель главного инженера ООО «АВТ-Амур», г. Благовещенск, Российская Федерация; e-mail: plotnikov1960@hotmail.com

Галимьянов Алексей Алмазович – кандидат технических наук, руководитель сектора разрушения горных пород, ведущий научный сотрудник Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: azot-1977@mail.ru

Казарина Елизавета Николаевна – инженер сектора разрушения горных пород Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: kazarinaen@mail.ru

Галимьянов Андрей Алмазович – ведущий инженер сектора разрушения горных пород Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: stanxi@mail.ru

Гевало Кирилл Васильевич – инженер сектора разрушения горных пород Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: igddvo@yandex.ru

Information about the authors

Vladimir I. Mishnev – Engineer of the Rock Destruction Sector, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: vovchenskiycf@gmail.com

Andrey Y. Plotnikov – Deputy of Chief Engineer, LLC “AVT7Amur”, Blagoveschensk, Russian Federation; e-mail: plotnikov1960@hotmail.com

Aleksey A. Galimyanov – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Rock Destruction Sector, Leading Researcher, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: azot-1977@mail.ru

Elizaveta N. Kazarina – Engineer of the Rock Destruction Sector, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: kazarinaen@mail.ru

Andrey A. Galimyanov – Leading Engineer of the Rock Destruction Sector, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: stanxi@mail.ru

Kirill V. Gevalo – Engineer of the Rock Destruction Sector, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: igddvo@yandex.ru

Article info

Received: 21.10.2022

Revised: 02.11.2022

Accepted: 04.11.2022

Информация о статье

Поступила в редакцию: 21.10.2022

Поступила после рецензирования: 02.11.2022

Принята к публикации: 04.11.2022