

Влияние параметров промежуточного детонатора на скорость детонации смесевых взрывчатых веществ

Ал.А. Галимьянов¹✉, К.А. Рудницкий², К.В. Гильденбрант², С.И. Корнеева¹, Е.Н. Казарина¹, В.И. Мишнев¹

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

² ООО «БСК Взрывпром», г. Тында, Российская Федерация

✉ azot-1977@mail.ru

Резюме: В горном деле буровзрывные работы считаются наиболее экономичным способом подготовки горной массы к выемке. Взрывы на разных горнодобывающих предприятиях ведутся при отличных друг от друга горно-геологических условиях и, соответственно, параметрах буровзрывных работ, что может оказывать значительное влияние на скорость детонации скважинного заряда, одну из важнейших его характеристик, влияющих на качество взрыва. Скорость детонации зависит от многих факторов, основными из которых являются: качество приготовления взрывчатых веществ и их компонентов, плотность, диаметр и высота столба заряда, параметры промежуточного детонатора и его расположение по длине колонки заряда. В статье приведены результаты измерений скорости детонации промышленных взрывчатых веществ и зафиксировано влияние массы промежуточного детонатора на скорость детонации.

Ключевые слова: буровзрывные работы, скорость детонации, взрывчатое вещество, промежуточный детонатор, инструментальные измерения, качество взрыва

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: Галимьянов Ал.А., Рудницкий К.А., Гильденбрант К.В., Корнеева С.И., Казарина Е.Н., Мишнев В.И. Влияние параметров промежуточного детонатора на скорость детонации смесевых взрывчатых веществ. *Горная промышленность*. 2023;(3):130–133. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-130-133>

Impact of booster characteristics on the detonation velocity of composite explosives

Al.A. Galimyanov¹✉, K.A. Rudnitsky², K.V. Gildenbrant², S.I. Korneeva¹, E.N. Kazarina¹, V.I. Mishnev¹

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

² LLC BSK Vzryvprom, Tynda, Russian Federation

✉ azot-1977@mail.ru

Abstract: Drilling and blasting operations are considered in the mining industry to be the most economical way to prepare the rock mass for extraction. Blasting is performed at various mining and geological conditions of different mining companies, thus the characteristics of drilling and blasting operations can have a significant impact on the detonation rate of the borehole charge, which is one of its most critical characteristics that affects the blast quality. Detonation velocity depends on many factors, the main of which include the quality of explosives preparation and their components, the density, diameter and height of the borehole charge, the booster parameters and its location within the borehole charge. The paper presents the results of measuring the detonation velocity of industrial explosives and records the impact of the booster weight on the detonation velocity.

Keywords: drilling and blasting, detonation velocity, explosive, booster, instrumental measurements, blast quality

Acknowledgments: 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: Galimyanov Al.A., Rudnitsky K.A., Gildenbrant K.V., Korneeva S.I., Kazarina E.N., Mishnev V.I. Impact of booster characteristics on the detonation velocity of composite explosives. *Russian Mining Industry*. 2023;(3):130–133. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-130-133>

Введение

Важнейшим параметром, определяющим действие взрыва в режиме реального времени, является скорость распространения детонационной волны. С развитием систем мониторинга взрыва в последнее время стал доступен широкий спектр средств измерений [1; 2], основанных в том числе на методе импульсной рефлектометрии, реостатном, контактном и электромагнитном [3] принципах. Измерение скорости детонации (далее – D) скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ) помогает сравнивать и оценивать относительные характеристики взрывчатых веществ и параметры БВР. На скорость детонации смесевых ВВ оказывают влияние: плотность и диаметр заряда; расположение промежуточных детонаторов (ПД) по колонке заряда и их параметры [4; 5], в том числе масса, диаметр и высота ПД.

Большинство крупных горнодобывающих предприятий перешло на приготовление смесевых ВВ непосредственно на местах применения [6]. Одним из положительных эффектов данного перехода является механизация изготовления и заряжания ВВ в скважины, а отрицательным – снижение качества заряда ВВ особенно эмульсионных ВВ (ЭВВ) относительно применения индивидуальных ВВ. Так как изготовление ЭВВ очень сложный процесс, начиная с приготовления полуфабрикатов (ПФ) на линии производства невзрывчатых компонентов ЭВВ и заканчивая смешиванием ПФ в смесительно-зарядной машине с формированием скважинного заряда. И качество основных компонентов ЭВВ, количество которых около 10, играет значительную роль в соответствующем процессе. Чтобы на выходе получить высокое качество ЭВВ, необходимы высококвалифицированный персонал, исправное оборудование и качественные компоненты. Поэтому зачастую качество ЭВВ не соответствует нормативным показателям, что в итоге негативно влияет на качество подготовки горной массы и не должно оставаться без должного внимания.

За последние годы наблюдается высокая активность научных исследований в направлении изучения свойств взрывчатых веществ, изготавливаемых в местах применения. Однако пока еще не выработана общепринятая теория, описывающая взаимосвязь факторов (плотность ВВ, диаметр заряда, параметры ПД, параметры БВР), влияющих на скорость детонации, поэтому рациональные параметры заряда определяются в итоге эмпирическим путем [7]. К примеру, в работах [8; 9] экспериментально зафиксирована зависимость скорости детонации ЭВВ от параметров промежуточного детонатора, однако в работе [10] говорится об обратном, что состав и детонационные характеристики промежуточного детонатора практически не оказывают влияния на начальный им-

пульс и изменение скорости детонации основного заряда ВВ, соответственно, в этом направлении целесообразны дополнительные исследования.

Результаты исследования

В целях уточнения влияния перечисленных факторов на скорость прохождения ударной волны по колонке заряда ВВ сотрудниками института горного дела ДВО РАН проведены инструментальные измерения скорости детонации взрывчатых веществ на разных карьерах Дальнего Востока. Измерения были произведены при помощи прибора VoD-305¹, принцип работы которого основан на методе импульсной рефлектометрии. Результаты измерений отражены в табл. 1 и на рис. 1.

Результаты измерений подтверждают теорию зависимости скорости детонации не только от состава ПД, но и

1 SHOTTRACK URL: <https://www.shottrack.com.au/product/shottrack-vod-305>

Таблица 1
Результаты измерений скорости детонации промышленных ВВ за 2022–2023 гг.

Table 1
The results of measuring the detonation velocity of industrial explosives in 2022–2023

Место проведения измерений	Кол-во измерений	Скорость детонации ВВ по ТУ, м/с	Диаметр скв., мм	Глубина скв., м	Длина заряда, м	Плотность ВВ, кг/м ³	Масса заряда, кг	Наименование ПД	Масса ПД, кг	Фактическая средняя скорость детонации заряда скважины М.					
										№1	№2	№3	№4/№5		
Патрированное эмульсионное ВВ - Эмулст АС-30ФП															
Карьер «Красноярченский»	1	4400-4600	115	6,5	2,8	1,275	32	Аммонит БЖВ	1	2438					
	2									3084					
	3										3636				
Карьер «Тажное»	1			6,5	2,8		32		1	2449					
	2								2		3448				
«Некрасовский карьер»	4			5,5					0,4	2700	1694	1215	3078		
	1			5					0,8		3453				
	1			5,5	4		36		0,8			3289			
	1			5,5					1				3568		
	1			5,5					0,6		3873				
Эмульсионное ВВ - НПМ-70															
Солнцевский угольный разрез (Восточная Горнорудная Компания)	1	5000	150	11	4,09	1,086	90	ТЭ-500-КД	0,5	3509					
	2			15	9,09		200		0,5		3167	3903			
	3			175	10		4,6		120	0,83	4288	4134	3364		
Простейшее ВВ - Гранулит У															
	2	3000-4500	150	11	5,63	0,9	90	Аммонит БЖВ	0,4		3331	3455			
Эмульсионное ВВ - НПМ-75															
	1	5100	175	11,5	7	1,1	167	ТЭ-П830КД	0,83				3891		
Эмульсионное ВВ - Нитронит Э-70															
Маломырский рудник (ГК "Петропавловск")	1	4800-5000	215	6,5	3	1,165	150	ПТП 750	0,75	4424					
	1			6			0,5			4429					
	1			13	10		550		НТ* П «С» 60-1	1	4158				
	1			13	10		500	ТЭ-П830КД	0,83		4470				
	1			13,5	10,4		520	ПД-П70/750/-100	0,75			4803			
	2			10	7,5		375	Сибирит ПД80/1,0	0,8	3688	3149				
	1			11				Сибирит ПД60/0,5	0,6			2035			
	1			7				Сибирит ПД80/1,0	0,8	3045					
	1			7	3,5		175	Сибирит ПД60/0,5	0,6		1020				
	1			6				ПД-П 500	0,5			1712			
	1			6,5				ВЭЛ 60/800ТГ 100	0,8				1178		
	1			12	9		450	НТ* -П«С»60-1(2 шт)	2	754					
	1			12				НТ* -П «С» 60-1	1		2616				
	1			12,5				ПД-П 750	0,75			2849			
	Простейшее ВВ - Гранулит РП-1														
1	3000-3500	215	6	6	0,78	180			0,75	3709					
1										0,5		3378			
1										0,8			3587		
1										1				3791	
1										0,8				3376	
Итого	43														

* Нитронит

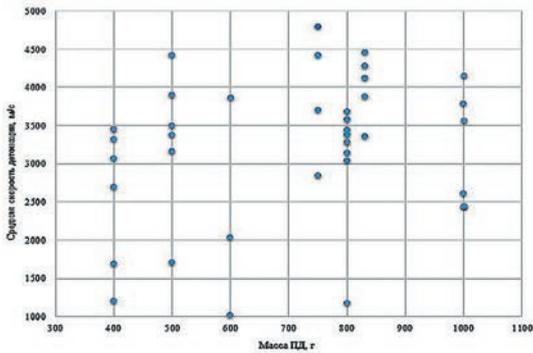


Рис. 1
Зависимость скорости детонации от массы ПД

Fig. 1
Dependence of the detonation velocity on the booster weight

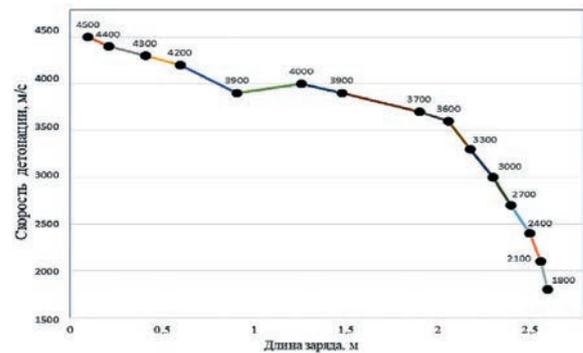


Рис. 3
График скорости детонации заряда скважины №2 на Некрасовском карьере: D средняя на отрезке 2,6 м – 3453 м/с; масса ПД – 0,8 кг

Fig. 3
Detonation velocity graph of the charge in borehole No.2 at the Nekrasovsky quarry: D is the average detonation velocity within the 2.6 m section, i.e. 3453 m/s. The booster weight is 0.8 kg

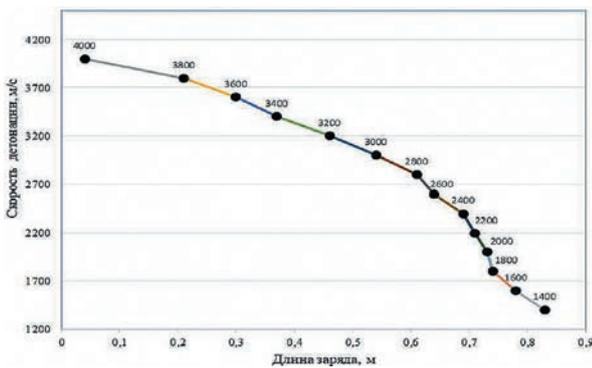


Рис. 2
График скорости детонации заряда скважины №1 на Некрасовском карьере: D средняя на отрезке 0,83 м – 2700 м/с; масса ПД – 0,4 кг

Fig. 2
Detonation velocity graph of the charge in borehole No.1 at the Nekrasovsky quarry: D is the average detonation velocity within the 0.83 m section, i.e. 2700 m/s. The booster weight is 0.4 kg

от параметров промежуточного детонатора, которые должны соответствовать рациональному значению [11] устойчивой детонации скважинного заряда. Для примера, на графике (рис. 2) показана фактическая D скважинного заряда (ВВ – Эмуласт АС30ФП, ПД – аммонит 6ЖВ-0,4 кг), где затухание детонации происходит через 0,85 м от места установки боевика, при длине колонки заряда 4 м и диаметре скважины 0,115 м, а на графике (рис. 3) зафиксирована D заряда (ВВ – Эмуласт АС30ФП, ПД – аммонит 6ЖВ-0,8 кг),

где скорость детонации выше относительно указанного заряда и снижается уже через 2,6 м при аналогичных значениях длины колонки заряда и диаметра скважины. На основании чего можно говорить о недостаточной массе промежуточного детонатора в первом случае, если не рассматривать качество ВВ и диаметр скважины.

Подтверждено, что существует предел увеличения массы промежуточного детонатора, при котором скорость перестает расти. Если D взрывчатых веществ не достигает пределов скорости детонации, указанной в технических условиях, то это может быть также обусловлено малым диаметром скважины и недостаточным качеством непосредственно ВВ.

Выводы

Приведенные мероприятия подтверждают актуальность систематических и более обширных измерений для разработки необходимой статистики в целях определения рациональных параметров БВР в конкретных горно-геологических условиях [12]. Для определения зависимостей влияния перечисленных факторов на D скважинного заряда планируется продолжение исследований в этом направлении, учитывая высокую актуальность вопроса качества подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом.

Список литературы

- 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>
- Кутуев В.А., Меньшиков П.В., Жариков С.Н. Анализ методов исследования детонационных процессов ВВ. *Проблемы недропользования*. 2016;(4):78–87. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.03.078>
- 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.
- Горинев С.А. *Научно-технические основы и технологии обеспечения устойчивой детонации эмульсионных взрывчатых веществ в скважинных зарядах* [дис. ... д-ра техн. наук]. Екатеринбург; 2018. 299 с.
- 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>
- Подозерский Д.С., Едигарев С.А., Власова Е.А., Соколов А.В., Белоглазов М.И., Шишаев В.А. и др. Метод определения скорости детонации и газовой вредности промышленных взрывчатых веществ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2003;(9):64–66.
- Жариков С.Н., Меньшиков П.В., Сеницын В.А. Определение взаимосвязи между плотностью, скоростью детонации и диаметром заряда на примере эмульсионного взрывчатого вещества «Нитронит». *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2015;(6):35–39.
- Добрынин И.А. *Обоснование параметров промежуточных детонаторов в скважинных зарядах для повышения эффективности дробления горных пород* [автореф. дис. ... канд. техн. наук]. М.; 2010. 20 с.

9. Маслов И.Ю., Пупков В.В., Фоменкова В.Е., Кампель Ф.Б., Коробов В.П., Славский Б.В. и др. Улучшение качества взрывной подготовки горной массы за счет применения промежуточных детонаторов с оптимальными габаритными размерами при инициировании скважинных зарядов эмульсионных ВВ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2003;(5):54–56.
10. Меньшиков П.В., Флягин А.С., Кутуев В.А. Изучение влияния начального импульса промежуточных детонаторов различной массы на скорость детонации зарядов эмульсионных взрывчатых веществ. *Проблемы недропользования*. 2022;(3):104–113. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2022.03.104>
11. Горинов С.А., Маслов И.Ю. Иницирование ЭВВ когерентным промежуточным детонатором. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(4):293–304.
12. Галимьянов А.А., Герасимов Д.Е., Мишнев В.И., Казарина Е.Н., Галимьянов А.А., Гевало К.В. Влияние параметров БВР на скорость детонации заряда взрывчатых веществ. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2022;(9):268–274.

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;(4):78–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.03.078>
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]. Yekaterinburg; 2018. 299 p. (In Russ.)
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. Podozersky D.S., Edigarev S.A., Vlasova E.A., Sokolov A.V., Beloglazov M.I., Shishaev V.A. et al. Method for determining the detonation velocity and gas hazard of industrial explosives. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2003;(9):64–66. (In Russ.)
7. Zharikov S.N., Men'shikov P.V., Sinitsyn V.A. Interrelation determination between density, velocity of detonation and charge diameter by the example of emulsive explosive called "Nytronite". *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2015;(6):35–39. (In Russ.)
8. Dobrynin I.A. *Justification of the parameters of intermediate detonators in borehole charges to improve the efficiency of crushing rocks* [Abstract of the Thesis. Diss. ... Cand. Sci. (Eng.)]. Moscow; 2010. 20 p. (In Russ.)
9. Maslov I.Yu., Pupkov V.V., Fomenkova V.E., Kampel' F.B., Korobov V.P., Slavskii B.V. et al. Improving the quality of explosive preparation of rock mass through the use of intermediate detonators with optimal overall dimensions when initiating borehole charges of emulsion explosives. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2003;(5):54–56. (In Russ.)
10. Menshikov P.V., Flyagin A.S., Kutuev V.A. Study of the effect of the initial pulse of intermediate detonators of various masses on the detonation rate of charges of emulsion explosives. *Problems of Subsoil Use*. 2022;(3):104–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2022.03.104>
11. Gorinov S.A., Maslov I.Yu. EE initiation by coherent booster. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(4):293–304. (In Russ.)
12. Galimyanov A.A., Gerasimov D.E., Mishnev V.I., Kazarina E.N., Galimyanov A.A., Gevalo K.V. Influence of BVR parameters on the detonation velocity charge of explosive. *News of the Tula State University. Technical Sciences*. 2022;(9):268–274. (In Russ.)

Информация об авторах

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

Рудницкий Константин Абрамович – генеральный директор, ООО «БСК Взрывпром», Амурская область, г. Тында, Российская Федерация; e-mail: bsk-vzryvprom@mail.ru

Гильденбрант Константин Владимирович – заместитель генерального директора, ООО «БСК Взрывпром», Амурская область, г. Тында, Российская Федерация; e-mail: khab-bsk@mail.ru

Корнеева Светлана Ивановна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории разработки россыпных месторождений, Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: s_korneeva@mail.ru

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

Мишнев Владимир Игоревич – инженер сектора разрушения горных пород, Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: mishnev.vl@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 14.04.2023

Поступила после рецензирования: 05.05.2023

Принята к публикации: 05.05.2023

Information about the authors

Alexey Al. Galimyanov – 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

Konstantin A. Rudnitsky – General Director, LLC BSK Vzryvprom, Amur region, Tynda, Russian Federation; e-mail: bsk-vzryvprom@mail.ru

Konstantin V. Gildenbrant – Deputy General Director, LLC BSK Vzryvprom, Amur region, Tynda, Russian Federation; e-mail: khab-bsk@mail.ru

Svetlana I. Korneeva – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher of the Laboratory for the Development of Placer Deposits, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: s_korneeva@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

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: mish-nev.vl@mail.ru

Article info

Received: 14.04.2023

Revised: 05.05.2023

Accepted: 05.05.2023