

УДК 622.235.213

Меньшиков Павел Владимирович

научный сотрудник,
лаборатория разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: menshikovpv@mail.ru.

Флягин Александр Сергеевич

младший научный сотрудник,
лаборатория разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: flyagingdr@mail.ru

Кутуев Вячеслав Александрович

научный сотрудник,
лаборатория разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: 9634447996@mail.ru

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНОГО
ИМПУЛЬСА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ
ДЕТОНАТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ МАССЫ
НА СКОРОСТЬ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ
ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ
ВЕЩЕСТВ****Аннотация:*

При ведении взрывных работ в карьерах очень важным является выбор промежуточных детонаторов (ПД) с достаточным начальным импульсом для инициирования скважинных зарядов. Установлено влияние массы ПД на скорость детонации основных зарядов взрывчатых веществ (ВВ). Масса заряда инициатора начального импульса скважинных зарядов эмульсионных ВВ должна быть не менее 500 г для избежания возникновения отказавших взрывов скважинных зарядов. Приведены основные характеристики ПД для инициирования зарядов. Показано соотношение скорости детонации ПД и скорости детонации эмульсионных ВВ. Установлено, что состав и детонационные характеристики ПД практически не оказывают влияния на изменение скорости детонации основного заряда ВВ. Влияние массы ПД на скорость детонации основного скважинного заряда происходит лишь в начале разгонной части на участке заряда ВВ длиной до 0,5 - 1 м, далее скорость детонации стабилизируется в стационарном режиме по всей длине заряда.

Ключевые слова: взрывные работы, эмульсионные взрывчатые вещества, промежуточные детонаторы, шапки-детонаторы, начальный импульс, скорость детонации, плотность взрывчатых веществ, Нитронит, Фортис, Порэммит.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.03.104

Menshikov Pavel V.

Researcher,
Laboratory of rock destruction,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.,
e-mail: menshikovpv@mail.ru.

Flyagin Alexander S.

Junior Researcher,
Laboratory of rock destruction,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
e-mail: flyagingdr@mail.ru

Kutuev Vyacheslav A.

Researcher,
Laboratory of rock destruction,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
e-mail: 9634447996@mail.ru

**STUDY OF THE EFFECT OF THE INITIAL
PULSE OF INTERMEDIATE DETONATORS
OF VARIOUS MASSES
ON THE DETONATION RATE
OF CHARGES OF EMULSION
EXPLOSIVES***Abstract:*

When conducting blasting in open pits, it is very important to choose boosters with a sufficient initial momentum to initiate blasthole charges. The influence of the boosters' mass on the detonation velocity of the main explosive charges is what we have established. The charge mass of the initiator of the initial pulse of blasthole charges of emulsion explosives must be at least 500 g to avoid the occurrence of failed explosions of blasthole charges. The paper contains the main characteristics of boosters for charge initiation and shows the relationship between the detonation velocity of boosters and the detonation velocity of emulsion explosives. We have established that the composition and detonation characteristics of boosters have practically no effect on the change in the detonation velocity of the main explosive charge. The influence of the boosters mass on the detonation velocity of the main blasthole charge occurs only at the beginning of the accelerating part in the section of the explosive charge up to 0,5 - 1 m long, then the detonation velocity stabilizes in a stationary mode along the entire length of the charge.

Key words: blasting, emulsion explosives, boosters, initial impulse, detonation velocity, density of explosives, Nitronite, Fortis, Poremite.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00412-22 ПР, тема 1 (2022-2024), (FUWE-2022-0005), пер. №1021062010531-8-1.5.1

Теория вопроса

Известно, что на скорость детонации и характеристики детонационного процесса оказывают влияние как химические (теплота взрыва), так и физические характеристики заряда взрывчатого вещества (ВВ): его диаметр, плотность, агрегатное состояние, размер частиц, однородность, наличие оболочек и др. [1 – 5].

Начальным импульсом называется определенное количество внешней энергии, которое необходимо приложить к заряду для начала процесса взрывчатого превращения ВВ, а иницированием называется сам процесс приложения начального импульса к заряду. Чувствительностью ВВ называется его восприимчивость к определенному виду внешнего воздействия [6 – 8].

Необходимая минимальная величина начального импульса зависит от чувствительности ВВ и степени восприимчивости к внешним воздействиям и различается для разных типов ВВ [9]. Чувствительность ВВ к иницирующему действию взрыва от другого ВВ называется чувствительностью к детонации, а именно способностью его взрываться от действия ударной волны другого ВВ. Чувствительность ВВ к детонации определяется предельным иницирующим зарядом, то есть минимальным зарядом иницирующего ВВ для вызова детонации вторичного заряда [9].

Применение промежуточного детонатора (ПД) в виде дополнительного заряда ВВ (шашки-детонатора или патрона-боевика), способного передавать начальный импульс основному заряду ВВ для возбуждения его взрыва, необходимо при использовании промышленных ВВ, характеризующихся низкой чувствительностью к детонации. При иницировании любого заряда ВВ необходимо иметь достаточно мощный ПД для вовлечения в процесс детонации всей критической массы основного заряда ВВ.

Влияние начального импульса на скорость детонации ВВ отмечалось еще Дотришем для пикриновой кислоты. Как отмечают К.К. Андреев и А.Ф. Беляев [10], аналогичное явление наблюдается в том случае, если ВВ с малой скоростью детонации иницируется мощным ПД, тогда на начальном участке скорость детонации становится выше нормальной, но с расстоянием по заряду ВВ скорость детонации начнет убывать или становится равной скорости детонации в стационарном режиме. Роль начального импульса сводится только к возбуждению взрыва. Это явление давно уже было обнаружено у динамитов, нитроглицерина, а также позже было установлено у жидких нитроэфиров и порошкообразных вторичных ВВ (тротил, тетрил, пикриновая кислота, ТЭН и гексоген), но для них различие в скоростях детонации было не столь велико, как для жидких ВВ.

Для эмульсионных ВВ, состоящих из жидкой и сухой фазы, различия в скоростях детонации в зависимости от разной мощности начального импульса могут быть значительными, но они наблюдаются только на начальных участках зарядов в разгонной части, в дальнейшем при переходе на стационарный режим скорость детонации будет зависеть только от плотности заряжения, диаметра заряда, равномерной газификации ВВ по всему заряду, а также дисперсности частиц ВВ.

Результаты исследования

С 2015 по 2016 г. сотрудниками лаборатории разрушения горных пород Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН) были проведены инструментальные замеры скорости детонации эмульсионных ВВ (ЭВВ) Нитронит Э-70, Фортис Эклипс-70, Фортис Эклипс-70 (с карбамидом), Фортис Эклипс-100, Фортис Эдвантедж-100 и Порэммит-1А на карьерах в технологических скважинах и на полигонах испытаний ВМ в вертикальных картонных и пластиковых гильзах различных диаметров при их иницировании разными типами ПД. В табл. 1 представлены результаты замеров скорости детонации промышленных ЭВВ.

Таблица 1

Результаты замеров скорости детонации промышленных ЭВВ [11, 12]

Дата взрыва	№ замера	Диаметр заряда, мм	Длина заряда ВВ, м	Фактическая плотность ВВ, кг/м ³	Плотность ВВ по ТУ, кг/м ³	Масса заряда ВВ, кг	Фактическая скорость детонации, м/с	ПД (боевик)	Скорость детонации по ТУ, м/с													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10													
Нитронит Э-70																						
01.07. 2015.	1	90	0,9	1,31	1,05 - 1,25	7,5	2202	ПТ-П750	4800 - 5000													
	2	150																				
	3	200																				
	4	250																				
05.11. 2015.	5	90		1,12																		
	6	200																				
	7	250																				
22.12. 2015.	8	90		1,303																		
	9	200																				
	10	250																				
11.11. 2015.	11			12,5						1,112	682	5538	ПТ-П750 (2шт.)									
	12			11,7						638				5594	ПТ-П750 (2шт.)							
	13			12,5												1,116	684	5419	ПТ-П750 (2шт.)			
	14			12,7												1,124				700	5208	ПТ-П750 (2шт.)
	15			1,112												693						
06.04. 2016.	16	90	0,9	1,303	9,2	3342	патрон-боевик аммонита 6ЖВ 250 г															
	17	200						36,8	4356													
	18	250								57,5	4719											
09.06. 2016.	19	90	1,22	7	4652	ПТ-П750																
	20	200	1,26				35,5	5327	ПТ-П750													
	21	250	1,292							57	4465	ПТ-П750										
28.10. 2016.	22	80	1,16	5,2	3484	ПТ-П500																
	23	100	1,21				8,5	4142	ПТ-П500													
	24	200	1,229							34,7	4695	ПТ-П500										
	25	250	1,19										52,5	4835	ПТ-П500							
Фортис Эклипс-70 (с карбамидом)																						
09.07. 2015	1	244,5	4,2	1,18	1,1 - 1,25	270	5524	ТГФ-850Э	4000 - 6000													
	2									270	4969	ТГФ-850Э										
	3												270	4292	ТГФ-850Э							
	4															3,8	250	5466	ТГФ-850Э			
	5															4,5				250	4760	ТГФ-850Э
Фортис Эклипс-70																						
20.08. 2015	6	170	5,5	1,05	1,1 - 1,25	131	5486	ТГФ-850Э	4000 - 6000													
	7	170	5,5							131	5156	ТГФ-850Э										

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Фортис Эдвантэдж-100										
11.07. 2015	8	170	8,8	1,17	1,1 - 1,25	268	5506	ТГФ-850Э	3300 – 5500	
	9	170				321	5481	ТГФ-850Э		
	10	170				321	5723	ТГФ-850Э		
	11	170				375	5541	ТГФ-850Э		
20.08. 2015	12	170	5,5	1,15		143	5485	ТГФ-850Э	3300 – 5500	
Фортис Эклипс-100										
16.10. 2015	13	194	7,1	1,15	1,1 - 1,25	241	5725	ТС-500Л	4000 - 6000	
20.10. 2015	14		7,4	1,15		251	5865	ТС-500Л		
	15		6,1	1,15	207	5356	ТС-500Л			
21.10. 2015	16		6,6	1,15	1,1 - 1,25	224	5494	ТС-500Л	4000 - 6000	
17.03. 2016	17	171	5,5	1,13 – 1,16		144	5031	ПТ-П500		
	18					5173	ПТ-П500			
Порэмит-1А										
19.05. 2016	1	100	1	1,16	1,15 - 1,28	9,1	2990	БШД-800У	4800 - 5200	
	2			1,17		9,2	3329	БШД-800У		
	3			1,16		9,1	2658	БШД-800У		
	4						2230	БШД-800У		
	5			1,18		9,3	3369	БШД-800У		
20.05. 2016	6			1,16		9,1	2275	БШД-800У		
	7			1,17		9,2	2844	БШД-800У		
	8			1,18		9,3	3896	БШД-800У		
16.06. 2015	1			1,22		9,6	4363	БШД-800У		
	2						4546	БШД-800У		
	3			1,23		9,7	5177	БШД-800У		
	4						5080	БШД-800У		
	5						4852	БШД-800У		
	6			1,2		9,4	4503	БШД-800У		
	7			1,22		9,6	4748	БШД-800У		
	8			1,21		9,5	4536	БШД-800У		
	9			1,2		9,4	4456	БШД-800У		
	10			1,23		9,7	5079	БШД-800У		
	11			1,2		9,4	4901	БШД-800У		
	12			1,22		9,6	4979	БШД-800У		
	13			1,24		9,7	4660	БШД-800У		
	14			1,19		9,3	4464	БШД-800У		
15			1,21		9,5	4530	БШД-800У			
16						4709	БШД-800У			
17			1,24		9,7	5120	БШД-800У			
17.06. 2015	1	244,5	2,06			112,1	4578	БШД-800У		
23.06. 2015	1	100	1	1,152		9,0	4629	БШД-800У		
	2			1,21	9,5	4462	БШД-800У			
	3			1,305	10,2	2796	БШД-800У			
24.06. 2015	1			1,229		9,6	4783	БШД-800У		
	2			1,248		9,8	4731	БШД-800У		
	3			1,243		9,8	4709	БШД-800У		

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25.06.2015	1			1,14		8,9	5908	БШД-800У	
	2			1,162		9,1	5840	БШД-800У	
	3			1,261		9,9	4981	БШД-800У	
	4			1,235		9,7	4531	БШД-800У	
	5			1,248		9,8	4876	БШД-800У	
04.02.2016	1	244,5	6	1,136		319,9	5510	БШД-800У	
	2		6	1,167-1,174		330,6	4790	ПТ-П750	
16.06.2016	1		9,5	1,15		512,7	5617	ПТ-П750	
	2		9,5			512,7	5793	ПТ-П750	

Из графика на рис. 1 видно, что для ЭВВ при увеличении начального импульса скорость детонации основного заряда ВВ также увеличивается, но незначительно. При использовании массы ПД от 250 до 850 г наблюдается изменение скорости детонации от 2 до 6 км/с.

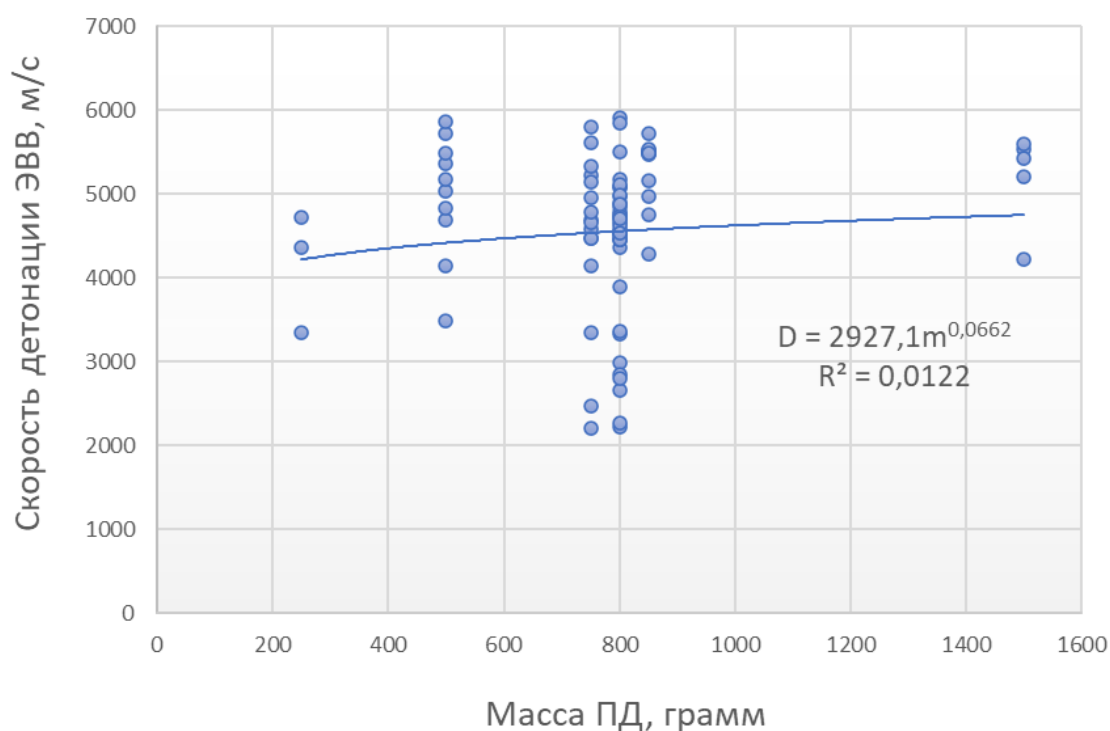


Рис. 1. Зависимость скорости детонации ЭВВ от массы ПД

Из графика видно, что нет четкой взаимосвязи между массой ПД и скоростью детонации заряда ВВ, т.к. масса ПД прежде всего влияет на возбуждение взрыва, а скорость детонации зависит от плотности и диаметра заряда ВВ.

Использование 2-х шашек-детонаторов (750 г) с общей массой 1500 г дает увеличенный начальный импульс, но не приводит к существенному увеличению скорости детонации основного заряда ВВ. То есть наблюдалось увеличение скорости детонации от 4,2 до 5,6 км/с, в отдельных случаях даже ниже, чем при использовании ПД с массой в диапазоне 500 – 850 г.

При инициировании зарядов ЭВВ с помощью патронов-боевиков аммонита №6ЖВ массой 250 г на одинаковых длинах зарядов регистрировалась меньшая скорость детонации. Несмотря на то что заряды ВВ сдетонировали полностью без отказов, скорость детонации при этом того же ЭВВ Нитронит Э-70 достигается максимально лишь

до 4,7 км/с при диаметре заряда 250 мм по сравнению с максимальной скоростью детонации 5,3 км/с при инициировании зарядов ПД массой 750 г при той же длине заряда 0,9 м, но при диаметре 200 мм. Это подтверждает предположение о том, что масса заряда инициатора начального импульса скважинных зарядов должна быть не менее 500 г.

В 2013 и 2015 гг. на предприятии ООО «Орика-УГМК» происходили случаи отказавших скважинных зарядов ЭВВ Фортис Эклипс-70 и Эклипс-100 с добавкой карбамида при их инициировании одной шашкой детонатором Т-400 Г. При выборе в качестве ПД шашек-детонаторов ТГФ-850Э, ТС-500Л и ПТ-П500 отказы прекратились. После случаев отказов в технических условиях (ТУ) ЭПВВ «Фортис» [13] с изменениями на 26.01.2015 г. было прописано «применять пентолитовый ПД с массой не менее 500 г». Данное требование применимо и для других ЭВВ с разными добавками, снижающими чувствительность к внешнему воздействию, регулируемыми рН водной среды, или пламегасителям. Например, Ю.В. Варнаков в статье [14] отмечает, что «добавка 3,0 % карбамида в окислительную фазу ЭВВ на моноселитре NH_4NO_3 снижает температуру кристаллизации раствора и улучшает детонационные характеристики конечного ВВ», он также отмечает что ЭВВ с добавкой карбамида с плотностью $\rho = 1,11 - 1,18 \text{ г/см}^3$ «устойчиво детонируют в патронах 30 мм и более, являются чувствительными к взрывному импульсу первичных средств инициирования».

Для того чтобы заряды ЭВВ инициировались от начального импульса при меньшей массе ПД, необходимо их сенсibilизировать на основе эмульсионной матрицы путем создания в ней пористости за счет насыщения газовыми пузырьками, при этом возможно водный раствор ГГД добавлять в ВВ, заранее смешанные с высокодисперсными твердыми частицами горючего или инертного материала [15]. Несмотря на сенсibilизирующее действие добавки карбамида, которая должна улучшать детонационные свойства ЭВВ, наоборот, был недостаточным начальный импульс для инициирования зарядов ЭВВ Фортис Эклипс, в отличие от того же ЭВВ Фортис Эдвантедж без добавки карбамида, который хорошо детонировал при применении шашки-детонатора Т-400 Г.

Литые прессованные шашки-детонаторы бывают разных составов: тротиловые, пентолитовые (сплав тротила с тэном) или тротило-гексогеновые. Состав ПД практически не влияет на изменение скорости детонации основного заряда ВВ, он влияет на начальный импульс, на возбуждение взрыва самого заряда. В случае же применения в качестве ПД аммонита №6ЖВ меньшая скорость детонации нитронита Э-70 объясняется не составом ПД и не меньшей массой боевика, несмотря на то что во всех случаях применялся один патрон весом 250 г, а диаметром заряда 90 мм и предельной плотностью ЭВВ, равной $1,303 \text{ г/см}^3$, что не соответствует диапазону значений ($\rho = 1,05 - 1,25 \text{ г/см}^3$), указанному в ТУ [16]. Характеристика ПД для инициирования зарядов представлена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика ПД для инициирования зарядов

Условное обозначение ПД	ВВ	Масса ПД, г	Плотность, г/см^3	Скорость детонации, км/с
Аммонит 6ЖВ	Аммиачная селитра/тротил	250	1,0 - 1,2	3,6 - 4,8
ПТ-П500	Тротил/ТЭН	500	1,58	7,5
ПТ-П750	Тротил/ТЭН	750	1,58	7,5
ТС-500Л	Тротил	525	1,53	6,85
ТГФ-850Э	Тротил/гексоген	850	1,6	7,7 - 7,8
БШД-800У	БРТТ	800	1,58 - 1,66	7,04 - 7,36

На рис. 2 показано соотношение скорости детонации заряда ВВ и скорости детонации ПД, инициирующего этот заряд.



Рис. 2. Соотношение скоростей детонации зарядов ВВ и ПД, инициирующих эти заряды (взяты максимальные номинальные значения скорости детонации ПД из табл. 2)

Влияние детонационных характеристик ПД на скорость детонации основного заряда ВВ очень незначительное. Увеличение скорости детонации на начальном участке заряда ВВ в разгонной части больше зависит от массы ПД, а не от его детонационных характеристик ПД, это происходит лишь в начале разгона на маленьком участке заряда ВВ, обычно до 0,5 – 1 м, далее скорость детонации стабилизируется в стационарном режиме, например, это хорошо видно на графике замера скорости детонации, представленном на рис. 3.

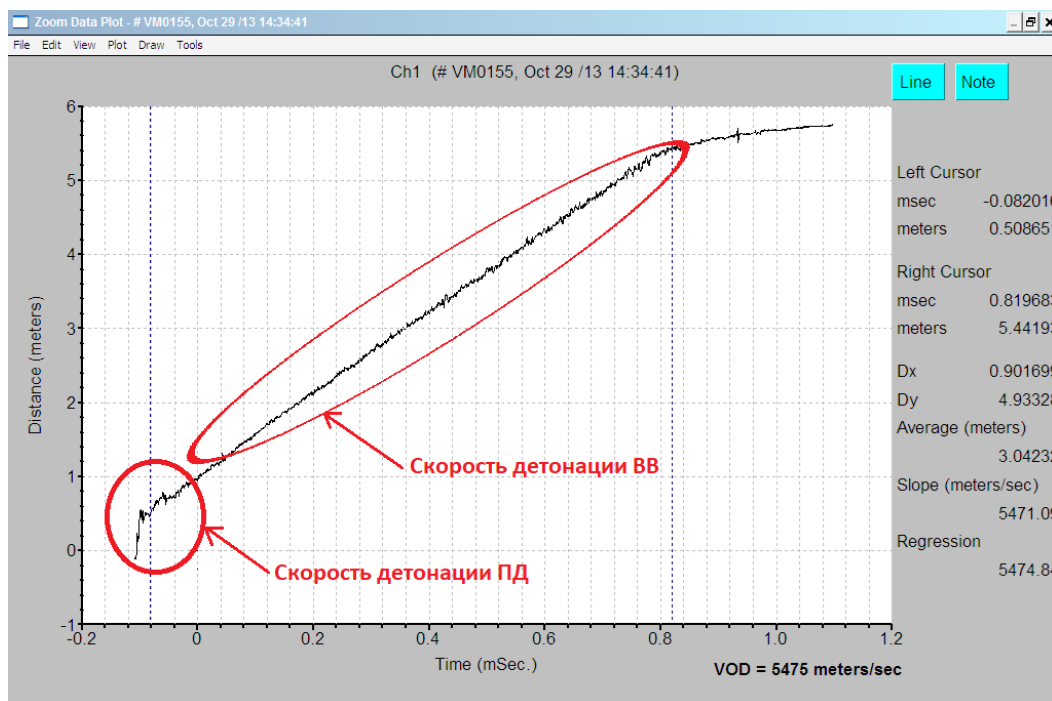


Рис. 3. Участок определения скорости детонации ПД на графике скорости детонации скважинного заряда ВВ (на примере ЭВВ «Фортис 70»)

Выводы

Состав и детонационные характеристики ПД практически не оказывают влияния на начальный импульс и изменение скорости детонации основного заряда ВВ. Влияние массы ПД на скорость детонации заряда ВВ очень незначительное, в зависимости от интенсивности инициирующего импульса скорость детонации на начальном участке в разгонной части заряда может быть выше или ниже скорости детонации основного заряда ВВ. Применение ПД с общей массой 1500 г не приводит к увеличению скорости детонации основного заряда ВВ. При использовании ПД с массой от 500 до 850 г скорость детонации изменяется от 2 до 6 км/с нелинейно, т.к. в основном зависит от плотности, диаметра заряда и размера частиц ВВ. Масса заряда инициатора начального импульса скважинных зарядов ЭВВ должна быть не менее 500 г для избежания случаев возникновения отказов.

Возможно, для шпуров и неглубоких скважин при малых длинах зарядов ВВ до 2 – 3 м при их инициировании мощными ПД массой не менее 500 г, скорость детонации возрастет не только на начальном участке в разгонной части, но и почти во всем колонковом заряде ВВ приблизительно на 400 – 600 м/с. В любом случае скорость детонации стабилизируется в стационарном режиме по всей длине заряда ВВ, вплоть до начала затухания детонационной волны.

В дальнейших исследованиях интересно рассмотреть влияние разной формы, длины и диаметра других типов ПД на изменение скорости детонации основного заряда ВВ.

Список литературы

1. Юхансон К., Персон П., 1973. *Детонация взрывчатых веществ*: Пер. с англ. Москва: Мир, 352 с.
2. Кутуев В.А., Меньшиков П.В., Жариков С.Н., 2016. Анализ методов исследования детонационных процессов ВВ. *Проблемы недропользования*, № 3, С. 78 – 87. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.078
3. Sinitsyn V.A., Menshikov P.V., Kutuev V.A., 2018. Estimation of Influence of Explosive Characteristics of Emulsion Explosives on Shotpile Width Published. *Problems of Complex Development of Georesources: electronic resource*. Khabarovsk: EDP Sciences, P. 01003, DOI: 10.1051/e3sconf/20185601003.
4. Горинов С.А., 2020. *Иницирование и детонация эмульсионных взрывчатых веществ*. Йошкар-Ола: Стринг, 214 с.
5. Бондаренко И.Ф., Жариков С.Н., Зырянов И.В., Шеменев В.Г., 2017. *Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 172 с.
6. Колганов Е.В., Соснин В.А., 2007. Безопасность эмульсионных промышленных взрывчатых веществ. *Записки горного института*, Т. 171, С. 203 – 212.
7. Кук М.А., 1980. *Наука о промышленных взрывчатых веществах*: пер. с англ. под. ред. Г.П. Демидюка и Н.С. Бахаревич. Москва: Недра, 453 с.
8. Kramarczyk B., Pytlik M., Mertuszka P., Jaszcz K., Jarosz T., 2022. Novel Sensitizing Agent Formulation for Bulk Emulsion Explosives with Improved Energetic Parameters, *Materials*, Vol. 15(3), No. 900, DOI: 10.3390/ma15030900
9. Оника С.Г., Стасевич В.И., Кузьмич А.К., 2020. *Разрушение горных пород взрывом: пособие для студентов*. Минск: БНТУ, 113 с.
10. Андреев К.К., Беляев А.Ф., 1960. *Теория взрывчатых веществ*. Москва: Оборонгиз, 596 с.
11. Сеницын В.А., Меньшиков П.В., Кутуев В.А., 2018. Определение основных характеристик взрывчатых веществ и воздействия взрыва на окружающую среду на основе применения измерительного оборудования "DATATRAP". *Устойчивое развитие горных территорий*, Т. 10, № 3(37), С. 383 – 391, DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-3-

383-391.

12. Меньшиков П.В., Жариков С.Н., Кутуев В.А., 2021. Определение ширины зоны химической реакции промышленного эмульсионного взрывчатого вещества порэмит 1А на основе принципа неопределенности в квантовой механике. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5 – 2, С. 121 – 134, DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_121.

13. *Вещества взрывчатые промышленные «Фортис»*. Технические условия ТУ 7276-001-23308410-2006 (с изменениями, на 26.01.2015 г.). Москва: ЗАО «Орика СиАйЭс», 2015, 21 с.

14. Варнаков Ю.В., Макаров А.Ф., Варнаков К.Ю., 2012. Теоретические основы создания эмульсионных взрывчатых веществ II класса, предназначенных для ведения взрывных работ шпуровыми зарядами малого диаметра. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*, № 2, С. 148 – 151.

15. Соснин В.А., Межеричкий С.Э., Печенев Ю.Г. и др., 2016. Особенности механизма детонации эмульсионных взрывчатых веществ. *Вестник Технологического университета*, Т. 19, № 19, С. 28 – 33.

16. *Вещества взрывчатые промышленные «Нитрониты»*. Технические условия ТУ 7276-003-58995878-2004. Москва: ЗАО «Институт взрыва», 2004, 18 с.

References

1. Yuxhanson K., Person P., 1973. Detonatsiia vzryvchatykh veshchestv [Detonation of explosives]: Per. s angl. Moscow: Mir, 352 p.

2. Kutuev V.A., Men'shikov P.V., Zharikov S.N., 2016. Analiz metodov issledovaniia detonatsionnykh protsessov VV [Analysis of methods for the study of detonation processes in explosives]. *Problemy nedropol'zovaniia*, № 3, P. 78 – 87. DOI: 10.18454 /2313-1586. 2016.03.078

3. Sinitsyn V.A., Menshikov P.V., Kutuev V.A., 2018. Estimation of Influence of Explosive Characteristics of Emulsion Explosives on Shotpile Width Published. *Problems of Complex Development of Georesources: electronic resource*. Khabarovsk: EDP Sciences, P. 01003, DOI: 10.1051/e3sconf/20185601003.

4. Gorinov S.A., 2020. Initsirovanie i detonatsiia emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv [Initiation and detonation of emulsion explosives]. Ioshkar-Ola: String, 214 p.

5. Bondarenko I.F., Zharikov S.N., Zyrianov I.V., Shemenov V.G., 2017. Burovzryvnye raboty na kimberlitovykh kar'erakh Iakutii [Drilling and blasting operations at the kimberlite quarries of Yakutia]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 172 p.

6. Kolganov E.V., Sosnin V.A., 2007. Bezopasnost' emul'sionnykh promyshlennykh vzryvchatykh veshchestv [Safety of emulsion industrial explosives]. *Zapiski gornogo instituta*, Vol. 171, P. 203 – 212.

7. Kuk M.A., 1980. Nauka o promyshlennykh vzryvchatykh veshchestvakh [The science of industrial explosives]: per. s angl. pod. red. G.P. Demidyuka i N.S. Bakharevich. Moscow: Nedra, 453 p.

8. Kramarczyk B., Pytlik M., Mertuszka P., Jaszcz K., Jarosz T., 2022. Novel Sensitizing Agent Formulation for Bulk Emulsion Explosives with Improved Energetic Parameters, *Materials*, Vol. 15(3), No. 900, DOI: 10.3390/ma15030900

9. Onika S.G., Stasevich V.I., Kuz'mich A.K., 2020. Razrushenie gornykh porod vzryvom: posobie dlya studentov [Destruction of rocks by explosion: manual for students]. Minsk: BNTU, 113 p.

10. Andreev K.K., Belyaev A.F., 1960. Teoriya vzryvchatykh veshchestv [Theory of explosives]. Moscow: Oborongiz, 596 p.

11. Sinitsyn V.A., Men'shikov P.V., Kutuev V.A., 2018. Opredelenie osnovnykh kharakteristik vzryvchatykh veshchestv i vozdeistviya vzryva na okruzhayushchuyu sredyu na osnove primeneniya izmeritel'nogo oborudovaniya "DATATRAPII" [Determination of the main

characteristics of explosives and of the detonation impact on the environment, using the DATA-RAPII measuring equipment]. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii*, Vol. 10, № 3(37), P. 383 – 391, DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-3-383-391.

12. Men'shikov P.V., Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2021. Opredelenie shiriny zony khimicheskoi reaktsii promyshlennogo emul'sionnogo vzryvchatogo veshchestva poremit 1A na osnove printsipa neopredelennosti v kvantovoi mekhanike . [Determination of the width of the chemical reaction zone for the industrial emulsion explosive poremit 1A based on the uncertainty principle in quantum mechanics]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5 – 2, P. 121 – 134, DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_121.

13. Veshchestva vzryvchatye promyshlennye "Fortis". Tekhnicheskie usloviya TU 7276-001-23308410-2006 (s izmeneniyami, na 26.01.2015 g.) [Emulsion industrial explosive "Fortis": Technical specifications TU 7276-001-23308410-2006 (as amended on 26.01.2015)]. Moscow: ZAO "Orika SiAiEs", 2015, 21 p.

14. Varnakov Yu.V., Makarov A.F., Varnakov K.Yu., 2012. Teoreticheskie osnovy sozdaniya emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv II klassa, prednaznachennykh dlya vedeniya vzryvnykh rabot shpurovymi zaryadami malogo diametra [Theoretical foundations for the creation of Class II emulsion explosives designed for blasting with small diameter drill charges]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti*, № 2, P. 148 - 151.

15. Sosnin V.A., Mezheritskii S.E., Pechenev Yu.G. i dr., 2016. Osobennosti mekhanizma detonatsii emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv [Peculiarities of the detonation mechanism of emulsion explosives]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, Vol. 19, № 19, P. 28 – 33.

16. Veshchestva vzryvchatye promyshlennye "Nitronity". Tekhnicheskie usloviya TU 7276-003-58995878-2004 [Emulsion industrial explosive "Nitronite". Technical specifications TU 7276-003-58995878-2004]. Moscow: ZAO "Institut vzryva", 2004, 18 p.