

послідовність виймання блоків на уступі. Після проведених розрахунків програма формує звіт про використання устаткування за бажаний період.

Методи проектування кар'єрів за допомогою пакетів прикладних програм Gemcom for Windows та SurvCADD є універсальними, дозволяють враховувати всі гірничо-геологічні та технологічні фактори і комплексно розв'язувати поставлені задачі, потребують відносно невеликих трудозатрат. Ці методи рекомендуються до застосування при проектуванні кар'єрів України і подальшій оптимізації на них гірничих робіт.

1. *Проектирование карьеров* / В. С. Хохряков, А. Т. Шелест, Г. П. Молтусов, А. Т. Кмитовенко. – М.: Недра, 1969. – 216 с.

2. *Автоматизированное проектирование карьеров: Учебное пособие для вузов* / В. С. Хохряков, С. В. Корнилков, Г. А. Неволин, В. М. Каплан. – М.: Недра, 1985. – 263 с.

3. *Танайно А. С. Автоматизация проектирования карьеров. Горно-геометрические расчеты.* – Новосибирск: Наука, 1986. – 191 с.

4. *Роджерс Т., Шлессер Ф., Чунуев И. К. Планирование горных работ на руднике Кумтор // Горный журнал.* – 2001. – № 5. – С. 105–111.

УДК 622.235

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНИЦИАТОРА НА МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ ДЕТОНАЦИИ В УДЛИНЕННОМ ЗАРЯДЕ**

*В. Г. Кравец, докт. техн. наук (НТУУ «КПИ»),  
В. Л. Демещук, инж. (НННИОТ)*

*Проаналізовано відомі експериментальні дані з метою встановлення узагальнюючої залежності між параметрами зміщення середовища на контакті з зарядом. Встановлено суттєву роль співвідношення імпедансів бойовика та вибухової речовини основного заряду, що визначає частку енергії бойовика, передану в ініційований заряд.*

Использование в качестве промышленных взрывчатых веществ низкоэнергетических взрывчатых веществ (ВВ) типа ANFO (АСДТ), суспензий, эмульсий, порошкообразных смесей, малоплотных взрывчатых смесей порождает проблему их эффективного инициирования с целью достижения максимального эффекта взрыва. Исследуя механизм инициирования удлиненного заряда взрывом боевика–детонатора в торце такого заряда, то есть на поверхности свободного конца заряда, следует учитывать особенности процесса передачи энергии инициатора заряду ВВ. Известно, что при взрыве

цилиндрического заряда (например, шашки тротила) в процессе прохождения по боевику детонационной волны, инициированной взрывом электродетонатора, происходит боковой разлет продуктов детонации с поверхности боевика и, соответственно, потери энергии. Влияние этих потерь на общий инициирующий импульс может быть достаточно ощутимым. В связи с этим введено понятие активной массы заряда, которой отвечает его активная длина  $l_A$  [1]. Таким образом, на процесс формирования инициирующего импульса существенное влияние оказывают параметры инициатора, а именно, его диаметр, высота и общая масса. Из общей массы боевика лишь определенная, ограниченная его часть участвует в формировании инициирующего импульса. Зная геометрические параметры боевика, а также тип применяемого ВВ в боевике, можно рассчитать энергию, расходуемую боевиком на формирование начального импульса взрывом, и, соответственно, оценить результаты воздействия этого импульса на контактирующую с боевиком среду (основной заряд или любой инертный материал). В качестве исходных данных для расчетов примем результаты исследований, изложенные в работах [2, 3]. Эти исследования подтверждают влияние формы боевика, его массы и типа ВВ на конечный эффект, который иллюстрируется величиной скорости ударной волны (УВ) и массовой скорости в инертной среде (плексигласе). К сожалению, в приведенных исследованиях авторы ограничились лишь иллюстрацией влияния нескольких параметров боевика на эффект передачи энергии в инертную среду, не попытавшись обобщить полученные данные и свести их к общей зависимости, учитывающей максимум факторов, определяющих результат действия инициирующего импульса.

Поскольку в опытах использовались тринитротолуол (ТНТ), гексоген (Гг) и смесь гексогена с порошком алюминия в качестве инертной добавки (Гг/Al<sub>ин</sub>), необходимо учесть различия в энергетических характеристиках этих ВВ (табл. 1). При расчете удельной энергии Гг/Al<sub>ин</sub> принято, что алюминий в реакции разложения взрывчатой смеси участвует лишь во вторичных реакциях, заметно запаздывающих по сравнению с реакцией разложения гексогена, то есть практически не влияющих на формирование УВ в инертной среде. Это означает, что общая энергия инициирующего импульса смеси Гг/Al<sub>ин</sub> может быть значительно выше по сравнению с ТНТ и Гг, однако лишь в зафронтальной области УВ. В связи с этим в табл. 1 учтена лишь часть энергии боевика Гг/Al<sub>ин</sub>, определяемая гексогеном. Энергия активной части боевика определялась из соотношения

$$Q_A = mQ_V \frac{l_A}{h}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса боевика, кг;  $l_A$  – активная длина боевика, м;  $h$  – высота боевика;  $Q_V$  – удельная энергия взрыва ВВ, кДж/кг.

В этой зависимости выражение  $m \frac{l_A}{h}$  представляет активную массу боевика  $m_A$ .

Таблица 1. Параметры инициатора зарядов ВВ

Тип ВВ инициатора	Размеры инициатора (боевика)				Энергетические характеристики			
	[2]				масса $m$ , кг	актив- ная масса $m_A$ , г	энергия, кДж	
	диаметр $d$ , м	высота $h$ , м	актив- ная длина $l_A$ , м	соот- ноше- ние $h/l_A$			полная	актив- ной части
ТНТ $\rho = 1,59 \text{ т/м}^3$  $D = 6960 \text{ м/с}$	$3 \cdot 10^{-2}$	0,0022	0,007	1,171	$25 \cdot 10^{-3}$	21,34	130,4	111,31
		0,032	0,0165	1,83	$50 \cdot 10^{-3}$	27,32	260,8	142,5
		0,0522	0,018	2,9	$75 \cdot 10^{-3}$	25,86	391,2	134,89
		0,0742	0,018	4,122	$100 \cdot 10^{-3}$	24,26	521,6	126,54
	$4 \cdot 10^{-2}$	0,0105	0,009	1,161	$50 \cdot 10^{-3}$	43,06	260,8	224,6
		0,023	0,0164	1,40	$75 \cdot 10^{-3}$	53,57	391,2	279,42
Гр $\rho = 1,61 \text{ т/м}^3$  $D = 8140 \text{ м/с}$	$3 \cdot 10^{-2}$	0,0078	0,0063	1,238	$25 \cdot 10^{-3}$	20,19	130,1	105,07
		0,0295	0,0162	1,821	$50 \cdot 10^{-3}$	27,46	260,2	142,90
		0,0512	0,018	2,844	$75 \cdot 10^{-3}$	26,37	390,3	137,23
		0,073	0,018	4,05	$100 \cdot 10^{-3}$	24,69	520,4	128,49
	$4 \cdot 10^{-2}$	0,0105	0,0087	1,207	$50 \cdot 10^{-3}$	41,425	260,2	215,58
		0,0224	0,01615	1,387	$75 \cdot 10^{-3}$	54,073	390,3	281,396
Гр/Al <sub>in</sub> $\rho = 1,79 \text{ т/м}^3$  $D = 7650 \text{ м/с}$	$3 \cdot 10^{-2}$	0,006	0,0053	1,132	$25 \cdot 10^{-3}$	22,08	81,58	72,05
		0,026	0,0154	1,675	$50 \cdot 10^{-3}$	29,85	163,15	97,4
		0,046	0,018	2,542	$75 \cdot 10^{-3}$	29,5	244,7	96,25
		0,0654	0,018	3,633	$100 \cdot 10^{-3}$	27,525	326,3	89,8
	$4 \cdot 10^{-2}$	0,0087	0,0077	1,13	$50 \cdot 10^{-3}$	44,25	163,15	144,38
		0,0203	0,0151	1,344	$75 \cdot 10^{-3}$	55,8	244,7	182,1
		0,032	0,02	1,6	$100 \cdot 10^{-3}$	62,5	326,3	203,9

Существенное различие в зависимостях скорости ударной волны  $D$  в инертной среде от типа ВВ и формы инициирующего заряда (рис. 1) приводит к выводу о необходимости их обобщения путем приведения активной части энергии инициатора к поверхности его контакта в торцевой части со средой, то есть к параметру  $d^2$  (табл. 2):

$$\bar{Q}_A = \frac{Q_A}{d^2}. \quad (2)$$

Таблица 2. Приведенные детонационные параметры боевика

Тип ВВ инициатора	Масса $m$ , $г/м_4$ , г	Приведенная энергия активной части $\bar{Q}_A = Q_A/d^2$ , кДж/м <sup>2</sup>	Детонационные характеристики				$\frac{u}{\rho D}$	$\frac{u}{(\rho D)^2} \cdot 10^{12}$
			скорость УВ $D$ , м/с	массовая скорость $u$ , м/с	$k_3$	$\bar{Q}_A \cdot k_3 \cdot 10^{-4}$		
ТНТ $\rho = 1,59 \text{ т/м}^3$ $D = 6960 \text{ м/с}$	50/27,32	$15,83 \cdot 10^4$	3870	1000	0,69	10,9	$0,9 \cdot 10^{-4}$	8,18
	75/25,86	$14,99 \cdot 10^4$	4010	1140		10,34	$1,03 \cdot 10^{-4}$	9,31
	100/24,26	$14,06 \cdot 10^4$	4090	1150		9,7	$1,04 \cdot 10^{-4}$	9,39
	50/43,06	$14,03 \cdot 10^4$	3740	1100	0,63	9,68	$1,0 \cdot 10^{-4}$	8,98
	75/53,57	$17,46 \cdot 10^4$	3980	1300		12,05	$1,17 \cdot 10^{-4}$	10,6
	100/58,82	$19,18 \cdot 10^4$	4090	1300		13,23	$1,17 \cdot 10^{-4}$	10,62
	25/20,19	$11,67 \cdot 10^4$	4090	1150	0,63	7,15	$0,88 \cdot 10^{-4}$	6,71
	50/27,46	$15,88 \cdot 10^4$	4510	1310		9,73	$1,0 \cdot 10^{-4}$	7,64
	75/26,37	$15,25 \cdot 10^4$	4430	1300		9,35	$0,99 \cdot 10^{-4}$	7,58
	100/24,69	$14,28 \cdot 10^4$	4550	1340	0,63	8,75	$1,02 \cdot 10^{-4}$	7,76
	75/54,07	$17,59 \cdot 10^4$	4560	1430		10,8	$1,09 \cdot 10^{-4}$	8,32
	100/59,52	$19,36 \cdot 10^4$	4650	1480		11,87	$1,13 \cdot 10^{-4}$	8,63
25/22,08	$8,0 \cdot 10^4$	3780	1120	0,59	4,72	$0,82 \cdot 10^{-4}$	5,97	
50/29,85	$10,82 \cdot 10^4$	4350	1250		6,38	$0,91 \cdot 10^{-4}$	6,65	
75/29,5	$10,69 \cdot 10^4$	4380	1350		6,3	$0,99 \cdot 10^{-4}$	7,21	
100/27,5	$9,98 \cdot 10^4$	4410	1390	0,59	5,89	$1,02 \cdot 10^{-4}$	7,41	
50/44,25	$9,02 \cdot 10^4$	3930	1350		5,32	$0,99 \cdot 10^{-4}$	7,21	
75/55,8	$11,38 \cdot 10^4$	4320	1450		6,71	$1,06 \cdot 10^{-4}$	7,71	
100/62,5	$12,744 \cdot 10^4$	4480	1510	7,52	$1,11 \cdot 10^{-4}$	8,1		

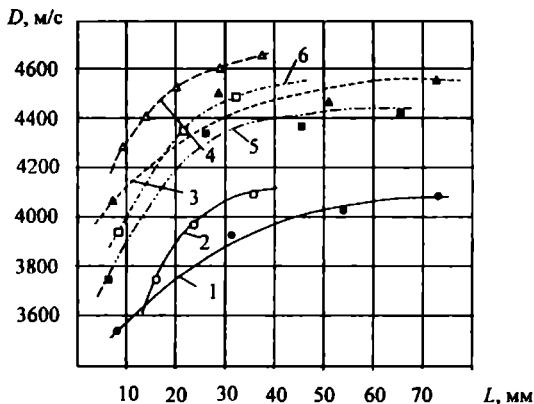


Рис. 1. Скорость ударной волны в функции длины и диаметра инициатора для различных типов инициирующих ВВ [3]: 1, 2 – ТНТ; 3, 4 – гексоген; 5, 6 – гексоген + Al; 1, 3, 5 – диаметр 30 мм; 2, 4, 6 – диаметр 40 мм

На рис. 2 представлена зависимость между массовой скоростью в инертной среде и приведенной энергией активной части боевика  $\bar{Q}_A$ . Как следует из этих данных, достигнуть обобщения результатов эксперимента таким путем не удастся. Кроме того, следует учесть дополнительные факторы, способные влиять на разброс экспериментальных точек. В первую очередь следует принять во внимание характер передачи энергии от заряда боевика окружающей среде (либо инертной, либо основному заряду). Нетрудно предположить, что во время детонации инициирующего заряда боевика в объеме промышленного заряда ВВ на границе раздела боевик–основной заряд происходят процессы, аналогичные процессам отражения и преломления ударной волны на границе двух сред, отличающихся по величине акустической жесткости (импеданса) [2].

$$u/(\rho D)^2 \cdot 10^{12}, \text{ м}^5 \text{ с кг}^{-2}$$

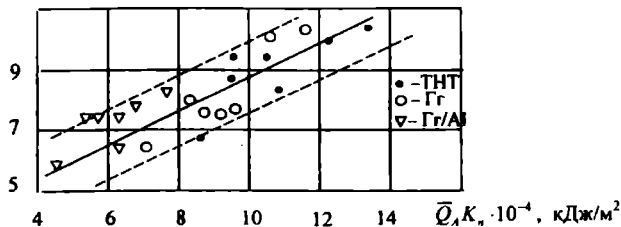


Рис. 2. Зависимость  $u/(\rho D)^2$  от приведенной активной энергии инициатора с учетом отражения

Существенные различия в импедансе боевиков, взрываемых от капсуля или ДШ, и основного заряда могут повлиять на механизм передачи детонации основному заряду. Рассмотрим в акустическом приближении возможный сценарий развития процесса детонации системы боевик-заряд на основе упрощенных расчетов интенсивности УВ, прошедшей в основной заряд. В условиях, когда УВ движется из менее сжимаемой среды в более сжимаемую, в результате отражения волны от границы этих сред по первой среде распространяется отраженная волна разрежения, а по второй среде – преломленная ударная волна сжатия [4].

Коэффициент экранирования [5] определяется из выражения

$$K_{\text{экр}} = \frac{1}{K_1 K_2} = \frac{(A_1 + A_2)^2}{4A_1 A_2}, \quad (3)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты рефракции волны на границе раздела сред;  $A_1 = \rho_1 D_1$ ,  $A_2 = \rho_2 D_2$  – акустические жесткости первой и второй среды;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – плотности этих сред;  $D_1$ ,  $D_2$  – соответствующие скорости детонации.

Из приведенной формулы следует, что при прохождении УВ во вторую, менее плотную среду, когда  $A_2 < A_1$ , интенсивность преломленной УВ сжатия

уменьшится в  $\left[ \frac{4A_1 A_2}{(A_1 + A_2)^2} \right]$  раза. Определим коэффициент экранирования для

трех конкретных случаев, когда в качестве боевика применяется шашка из прессованного тротила, гексоген и смесь Гг/Al, а в качестве заряда ВВ – плексиглас со следующими характеристиками (табл. 3).

Таблица 3. Характеристики взаимодействующих сред

Среда	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Скорость детонации (звука), м/с
Тротил прессованный	1590	6640
Гексоген	1610	8150
Гг/Al	1780	7780
Плексиглас	1185	2572

Опираясь на приведенные выше закономерности на границе сред, рассчитаем величину коэффициента преломления в инертную среду

$$K_{\text{н}} = \frac{4A_1 A_2}{(A_1 + A_2)^2} \quad (\text{табл. 4}).$$

Таблица 4. Параметры преломления

Пара сред	Акустическая жесткость		$K_{\text{н}}$
	инициатора, $A_1$	среды (плексиглас), $A_2$	
Тротил+плексиглас	$10,56 \cdot 10^6$	$3,048 \cdot 10^6$	0,69
Гексоген+плексиглас	$13,12 \cdot 10^6$		0,613
Гг/Al <sub>ин</sub> +плексиглас	$13,85 \cdot 10^6$		0,59

Для установления зависимости  $u = f(\bar{Q}_A)$  необходимо обрабатывать приведенные экспериментальные данные с учетом доли энергии активной части боевика, прошедшей в контактирующую с ним среду вследствие различия их импедансов, то есть принять в качестве аргумента величину  $\bar{Q}_A K_n = \bar{Q}_A^{np}$ . В качестве функции необходимо принять величину массовой скорости, приведенной к импедансу ВВ, либо к квадрату импеданса ВВ. Анализ зависимости  $\frac{u}{(\rho D)^2} = f(\bar{Q}_A K_n)$ , приведенный на рис. 2, показывает, что

наиболее плотно точки ложатся во втором случае. Из приведенных данных видно, насколько важную роль в формировании инициирующего импульса, приходящего в инициируемую среду, играют акустические жесткости взаимодействующих сред. До настоящего времени в приведенном разделе рассматривался в качестве инициируемой среды один материал – плексиглас, по своим акустическим характеристикам подобный большинству низкоэнергетических ВВ.

Чтобы убедиться в важности учета соотношения акустических импедансов боевика и заряда, выполним расчет степени экранирования инициирующей УВ различных по типу ВВ боевиков на контакте с различными основными ВВ. В табл. 5 приводятся детонационные характеристики ВВ, а в табл. 6 приведены результаты расчета коэффициента преломления, то есть степени снижения интенсивности преломленной УВ.

Таблица 5. Детонационные параметры ВВ

ВВ	Параметры	
	плотность, кг/м <sup>3</sup>	скорость детонации, м/с
Аммонит № 6ЖВ	1000	3900
Тротил прессованный	1600	5900
Взрывчатая пена ВП-1	400	2000
Взрывчатая пена ВП-2	1200	2500

В настоящей статье не преследовалась цель получения конкретных зависимостей  $u(Q_V)$ . Необходимо было продемонстрировать, сколь важна роль соотношения акустических жесткостей инициатора и инициируемой среды в механизме инициирования, на что до сих пор внимания не обращалось.

Таблица 6. Параметры преломления

Пара ВВ	Акустическая жесткость $\rho D$ , кг·с/м <sup>4</sup>		$K_{II}$
	инициатора $A_1$	заряда $A_2$	
Аммоний 6ЖВ+ВП-1	$3,9 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^6$	0,565
Тротил+ВП-1	$9,44 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^6$	0,288
Тротил+ВП-2	$9,44 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	0,732

Приведенные данные (см. табл. 6) свидетельствуют о том, что существенное различие боевика и заряда по акустическим жесткостям может вызвать непредвиденное падение скорости детонации в заряде вследствие высокого коэффициента отражения энергии взрыва боевика и, соответственно, меньшей доли энергии, перешедшей в основной заряд. Компенсировать потери энергии боевика можно либо за счет увеличения общей массы, либо путем регулирования процесса передачи энергии боевика иницируемому заряду изменением импеданса инициатора, его формы и диаметра, то есть активной части иницирующего заряда.

1. Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К. П. Физика взрыва. – М.: Наука, 1973. – 703 с.

2. Cudzilo S., Maranda A, Nowaczewskij, Trzcinski W. O szacowaniu parametrów fal uderzeniowych generowanych w ośrodku inercyjnym ciśnieniem produktów detonacji // Тр. междунар. конф. «Materiały wybuchowe i technika strzelnicza». – Т. 1. – Гливице: Изд. Agat Print. – 1993. – С. 46–59.

3. Cudzilo S., Maranda A, Nowaczewskij, Trzcinski W. Badanie wpływu charakterystyk detonatora na parametry fal uderzeniowych w ośrodku inercyjnym // Тр. междунар. конф. «Materiały wybuchowe i technika strzelnicza». – Гливице: Изд. Agat Print. – 1993. – Т. 1. – С. 60–69.

4. Сироткин В. К., Сумин Е. В. Взрыв в насыщенных хрупкоразрушаемых средах // Теория динамических явлений в твердых телах и горных породах. – М.: МИФИ. – 1981. – С. 3–17.

5. Новиков В. Д., Луговой П. З. Подводные и прибрежные взрывы. – К.: Наукова думка, 1982. – 136 с.

УДК 662.221.1:662.216.1

## О СВЯЗИ ХИМИЧЕСКОГО И ФИЗИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ДЫМНОГО ПОРОХА

*М. Ф. Буллер, канд. техн. наук (ГосНИИХП, г. Шостка)*

*Розглянуто механізм взаємозв'язку процесів хімічного та фізичного старіння димного пороху. Показано, що пов'язуючим фактором виступають кисневмісні поверхневі групи деревного вугілля.*

Ранее было показано [1], что при хранении дымного пороха на него оказывают негативное влияние кислород и вода. Действие кислорода связано с накоплением кислородсодержащих групп на поверхности древесного угля, что отрицательно сказывается на химической стойкости дымного пороха. Действие влаги связано с ее адсорбцией гранулами дымного пороха и созданием условий