

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы: Справочное пособие – М.: Недра, 1991. – 304 с.
2. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 191 с.
3. Надежность и долговечность напорных гидротранспортных систем / Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, Д.Г. Сулаберидзе, Л.А. Алехин. – М.: Недра, 1984. – 216 с.
4. Семенов Е.В., Семенов В.П. Очистка поверхности трубопровода гидротранспортной установки от льда гидроударом // Геотехническая механика. - Днепропетровск, 2001. - Вып.№ 26. - С. 103 - 108.
5. Прочность, устойчивость, колебания: Справочное пособие: в 3 Т.- Т.1// Под ред. И.А. Биргера. – М.: Машиностроение, 1968. – 832 с.
6. Макеев Е.М., Семенов В.П. Прочность, жесткость и устойчивость составной оболочечной конструкции при поперечном локальном нагружении // Сб. н. тр. «Надежность и прочность технических систем». – К.: Наукова думка, 1976. – С. 132 – 147.

УДК 622.235.5

В.Д. Петренко, И.Л. Кратковский,
Л.А. Логвина

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ЗАБОЙКИ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗРЫВА

Приведено методику розрахунку динамічних та кінематичних параметрів висадження свердловинних зарядів різного ступеня бризантності з урахуванням їхньої дії в ближній зоні вибуху і на межі «заряд-набійка»

THE INFLUENCE PROPERTIES OF EXPLOSIVES AND STEMMING TO THE POWER PARAMETERS OF EXPLOSION

The technique of calculation of dynamic and kinematics parameters of a hole blasting of a different degree of brisance with allowance for their operations in a near-field region of explosion and on border “charge-stemming” is adduced

Известно, что тип взрывчатого вещества (ВВ) и забойки существенно влияет на параметры начального давления в зарядной полости и время воздействия продуктов детонации на разрушаемый массив [1, 2]. Поэтому они являются важными факторами управления параметрами (амплитудой и длительностью) взрывного импульса. При этом тип ВВ изменяет параметрами взрывного нагружения, а забойка улучшает условия протекания взрывного превращения и снижает объемы выбросов вредных газов в атмосферу.

Оценим скоростные характеристики движения забойки и время запираения продуктов взрыва в цилиндрической зарядной полости, расположенной в горной породе с высокими прочностными свойствами, приведенными в табл. 1.

Считаем, что сдвигение забойки начинается после того, как в забоечном материале произошли процессы уплотнения и разгрузки, вызванные ударной волной, возникающей при заполнении взрывной полости образующимися при детонации ВВ газами. После этого забойка движется внутри полости под действием переменной силы, вызванной давлением газов $P(v)$ и сил бокового распора и трения забойки о стенки полости.

Таблица 1 – Физико-механические и прочностные свойства кристаллических горных пород

Тип породы	Коэффициент крепости по Протодьяконову	Плотность, ρ , кг/м ³	Предел прочности, МПа		Скорость продольной волны C_p , м/с	Коэффициент Пуассона, ν
			на сжатие	на разрыв		
Гранит мелкозернистый	14-16	2800	250	15	6000	0,31
Гранит среднезернистый	12-14	2600	120	15	5500	0,25
Мигматит	10-12	2550	100	10	5100	0,1

Уравнение движения забойки запишем в виде

$$P(\nu) \frac{\pi d^2}{4} - P(\nu) \pi d \frac{l_{заб}}{2} \cdot K, \quad (1)$$

где d – диаметр зарядной полости, м; $m_{заб}$ – масса забойки, кг;

$$m_{заб} = \rho_{заб} \cdot l;$$

$l_{заб}$ – длина забойки, м; K_b и $K_{тр}$ – соответственно коэффициенты бокового распора и трения забойки о стенки полости; a – ускорение движения забойки, м/с².

По мере движения забойки внутри полости увеличивается объем, занимаемый продуктами взрыва, и падает их давление. Кроме того, давление падает и за счет ударного проникновения газов взрыва в зону переизмельчения.

Предположим, что на стадии движения забойки внутри взрывной полости расширение продуктов взрыва происходит изоэнтропически, сначала по закону $PV^3 = const$, а затем, при более низких давлениях, по закону $PV\rho = const$ [2].

Начальное давление продуктов взрыва будем оценивать как $P_n = \frac{\rho_{BB} D^2}{8}$ [4]

где ρ_{BB} – плотность ВВ, кг/м³; D – скорость детонации, м/с.

Рассчитаем среднее давление в полости на основе теоремы о среднем для функции

$$\int_{V_n}^{V_k} P(V) dV = P_{cp} (V_k - V_n) \quad (3)$$

где V_n и V_k – соответственно начальный и конечный объемы, занимаемые газами взрыва.

Будем считать, что начальный объем – это объем, занимаемый ВВ и равный

$$V_n = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_{зар} \quad (4)$$

где $l_{зар}$ – длина заряда, м.

Конечный объем – это объем, занимаемый продуктами взрыва в момент вылета забойки из зарядной полости

$$V_k = \frac{\pi d^2}{4} (l_{зар} - l_{заб}) + \varepsilon V_{доп} \quad (5)$$

где $V_{доп}$ – дополнительный объем проникновения газов внутрь массива в ближней зоне взрыва.

Рассчитаем $V_{доп}$ как объем зоны переизмельчения равной 3 радиусам заряда, насыщаемой газами при пористости ε ; определяется как

$$V_{доп} = \pi(9r_0^2 - r_0^2)l_{зар} = 8\pi r_0^2 l_{зар} = 2\pi d^2 l_{зар} \quad (6)$$

Перепишем (3) в виде

$$\int_{V_n}^{V_k} P(V) dV + \int_{V_*}^{V_k} P(V) dV = P_{cp} (V_k - V_n) \quad (7)$$

где V_* – объем газов взрыва в точке Чепмена-Жуге [4].

Запишем уравнение состояния продуктов взрыва при их изоэнтропическом расширении

$$P_n V_n^3 = c_1 = P_* V_*^3; \quad P_* = \frac{c_1}{V_*^3}; \quad P_* = \frac{c_2}{V_*^\beta}; \quad \frac{c_2}{c_1} = \frac{V_*^\beta}{V_*^3}; \quad c_2 = c_1 \frac{V_*^\beta}{V_*^3}, \quad (8)$$

где c_1 и c_2 – постоянные, определяемые на основе вышеприведенных соотношений и граничных условий; β – показатель адиабаты.

Запишем выражение (7) в виде

$$\int_{V_n}^{V_k} \frac{c_1}{V^3} dV + \int_{V_*}^{V_k} \frac{c_2}{V^\beta} dV = P_{cp} (V_k - V_n) \quad (9)$$

Величины ρ_* и V_* вычисляем их энергетических соображений [3] и на основе преобразования формулы (8)

$$P_* = P_n \left(\frac{2\omega\rho_{BB}}{7P_n} - \frac{1}{7} \right)^{3/2}, \quad (10)$$

где ω и ρ_{BB} – соответственно удельная энергия или теплота взрыва, кДж/кг и теплоемкость ВВ, кг/м³.

$$V_* = \sqrt[3]{\frac{c_1}{P_*}}. \quad (11)$$

Преобразуем выражение (9) к виду

$$\frac{c_1}{-2V_*^2} \Big|_{V_n}^{V_*} + \frac{c_2}{(-\beta+1)V_*^{-\beta+1}} \Big|_{V_n}^{V_*} = P_{cp} (V_* - V_n)$$

или

$$\frac{c_1}{2V_n^2} - \frac{c_1}{2V_*^2} + \frac{c_2}{(\beta-1)V_*^{\beta-1}} - \frac{c_2}{(\beta-1)V_n^{\beta-1}} = P_{cp} (V_* - V_n) \quad (12)$$

Расчеты по формуле (12) позволяют оценить P_{cp} для конкретного ВВ.

Обозначим в выражении (1) произведение $K_\delta \cdot K_{тр} = \alpha$, как коэффициент, характеризующий взаимодействие забойки со стенками скважины [5].

Подставив P_{cp} в (1) и преобразовав его, определим ускорение движения забойки как

$$a = \frac{P_{cp}}{\rho_{заб} \cdot l_{заб}} \left(1 - 2\alpha \frac{l_{заб}}{d} \right) \quad (13)$$

Тогда начальная скорость движения будет равна

$$v_0 = \sqrt{2al_{заб}} = \sqrt{\frac{2P_{cp}}{\rho_{заб}} \left(1 - 2\alpha \frac{l_{заб}}{d} \right)} \quad (14)$$

Среднюю скорость движения забойки определим исходя из того, что импульс силы при давлении P_* , действующий на торец забойки, равен изменению количества ее движения

$$P_* \frac{\pi d^2}{4} \cdot t = m_{заб} \cdot V_{cp} \quad (15)$$

где t – время детонации заряда, определяемое как

$$t = \frac{l_{заб}}{L}, \quad (16)$$

а $m_{заб}$ – масса забойки

$$m_{заб} = l_{заб} \cdot \rho_{заб} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (17)$$

Подставив значения t и $m_{заб}$ в выражение (15) и преобразовав его получим

$$V_{cp} = \frac{P_* \cdot l_{зар}}{D \cdot l_{заб} \cdot \rho_{заб}} \quad (18)$$

Найдем среднее время движения забойки как

$$t_{cp} = \frac{l_{заб}}{V_{cp}} \quad (19)$$

Произведем численные оценки величин, рассчитываемых по формулам (12), (14) и (18) для ВВ, характеристики которых приведены в табл.2.

Таблица 2 – Плотность, скорость детонации, теплота взрыва и показатель адиабаты для некоторых типов ВВ

Тип ВВ	Плотность, $\rho_{ВВ}$, кг/м ³	Скорость детонации, D , м/с	Теплота взрыва, ω , кДж/кг	Показатель адиабаты
Смесь баллиститного пороха с грам-монитом 79/21 ГС	1400	4600	4200	1,25
Гранулотол	1500	5500	4200	1,14

Параметры и условия взрывания, характеризующиеся диаметром, длиной и свойствами забойки, представлены в табл.3.

Таблица 3 – Параметры и условия взрывания скважинных зарядов ВВ

Диаметр зарядной полости, $d_{зар}$, м	Длина заряда, $l_{зар}$, м	Длина забойки $l_{заб}$, м	Плотность забойки $\rho_{заб}$, кг/м ³	Коэффициент трения $K_{тр}$	Коэффициент бокового распора K_6	Показатель адиабаты α
0,105	6-7 (6,5)	2	1600	0,3	0,075	0,0225
0,215	9-10 (9,5)	4-5 (4,5)	1600	0,3	0,075	0,0225

Величины, рассчитанные по формулам (1)-(9), приведены в табл.4.

Таблица 4 – Динамические и кинематические параметры взрывания скважинных зарядов различной степени бризантности

Расчетный параметр	Тип ВВ			
	Смесь баллиститного пороха с граммонитом 79/21		Гранулотол	
	Диаметр заряда, м			
	0,105	0,215	0,105	0,215
$V_n, \text{ м}^3$	0,056255	0,3447227	0,56255	0,3447227
$\epsilon V_{\text{доп}}, \text{ м}^3$	0,1350121	0,827335	0,1350121	0,827335
$V_k, \text{ м}^3$	0,2085764	1,3353477	0,2085764	1,3353477
$V^*, \text{ м}^3$	0,1023	0,620	0,133	0,830
$c_1, \text{ МДж}$	0,659134	151,69228	1,0095937	232,34665
$c_2, \text{ МДж}$	35,639375	350,0451	43,008691	328,53816
$P_n, \text{ МПа}$	3703	3703	5671,875	5671,875
$P_{\text{ср}}, \text{ МПа}$	746,45184	300,88348	1022,1839	969,23316
$P^*, \text{ МПа}$	638,0269	638,0269	403,8464	403,8464
$v_0, \text{ м/с}$	365,3	148,0	427,4	265,4
$v_{\text{ср}}, \text{ м/с}$	149,0	97,0	294,0	183,0
$t_{\text{ср}}, \text{ м/с}$	13,4	46,4	6,8	24,6

Как следует из анализа представленных данных, чем выше бризантность ВВ, тем больше скорость движения забойки и менее продолжителен процесс запыриания газов взрыва в зарядной камере.

Таким образом, разработанная методика позволяет рассчитывать динамические и кинематические параметры взрывания скважинных зарядов различной степени бризантности с учетом их действия в ближней зоне взрыва и на границе «заряд-забойка».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разрушение горных пород энергией взрыва/ Э.И.Ефремов, В.С.Кравцов, Н.И.Мячина и др. – К.: Наук.думка, 1987. – 264 с.
2. Барон В.Л., Кантор В.Х. Техника и технология взрывных работ в США. – М.: Недра, 1989. – 367 с.
3. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Недра, 1977. – 704 с.
4. Физика взрыва/ Ф.А.Баум, Л.П.Орленко, К.П.Станюкович и др. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
5. Исаков А.Л., Коковкин В.П. Модельные исследования поведения забойки и расчет импульсов при взрыве скважинных зарядов/ Физико-техн. пробл. разраб. полезн. ископ. – 1979. – № 4. – С.29-38.