

Куриной В. П. /д. т. н./,  
Гаркуша И. П. /к. ф.-м. н./  
ГВУЗ «Национальный горный университет»

## Начальные параметры ударных волн в забойке удлинённых зарядов для скальных пород

Получены начальные параметры ударных волн в забойке скважинного заряда из взрывчатых веществ различной мощности для скальной породы. Материалом забойки служила вода и частицы скальных пород. Параметры ударных волн определялись для случая верхнего и нижнего инициирования, а также мгновенной детонации при различной пористости забойки и содержания воды. Произведена оценка давления, необходимого для возбуждения ударной волны в забойке. Табл. 6. Библиогр.: 3 назв.

**Ключевые слова:** ударная волна, ударная адиабата, коэффициенты в уравнении Тэта, многокомпонентная среда, забойка

*The initial parameters of shock waves in stemming of mining hole charge from the explosives of a different power for a rocky breed are got. Water and particles of rocky breeds served as material of stemming. The parameters of shock waves were determined for the case of initiation overhead and lower, and also instantaneous detonation, at a different porosity of stemming and maintenance of water. Estimation of pressure necessary for excitation of shock wave in stemming is produced.*

**Keywords:** shock wave, shock adiabatic, coefficients in the Teta equalization, multicomponent environment, stemming

Эффективность действия взрыва существенно зависит от качества забойки. Увеличение времени вылета забойки повышает коэффициент использования энергии взрыва, но при этом повышает вероятность появления негабарита в верхней части уступа (особенно в первом ряду скважин). Теоретически изучить процессы, протекающие в забойке при взрыве, в настоящее время чрезвычайно трудно. Недостаточно изучены даже механизмы процессов вылета забойки. По-видимому, даже оценка параметров процессов, протекающих при вылете забойки, достаточно актуальна.

При определении времени вылета забойки из скважины или шпура важно знать, образуется или нет ударная волна, а если образуется, то найти ее параметры. В полости взрыва (скважине) протекают сложные волновые процессы, и начальные параметры волн зависят от них.

Оценим параметры ударной волны (УВ) в случае лишь нижнего инициирования. При этом за фронтом детонационной волны (ДВ) движется волна разрежения. Если предположить, что показатель адиабаты  $n = 3$ , то на половине расстояния, пройденного ДВ, находится разрыв. До разрыва давление продуктов детонации (ПД) одинаково и равно примерно  $0,3P_i$ , где  $P_i$  – давление во фронте ДВ, продукты детонации покоятся. За разрывом, который движется со скоростью  $D/2$ , где  $D$  – скорость детонации, скорость продуктов детонации линейно возрас-

тает до  $u_i$  – скорости ПД во фронте детонационной волны [1].

Если в качестве забойки используется вода, в продуктах детонации образуется волна разрежения и начальные параметры УВ находятся из уравнений [1]:

$$u_s = \frac{D}{n+1} \left( 1 + \frac{2n}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{P_s}{P_i} \right)^{\frac{n-1}{2n}} \right) \right) =$$

$$= \sqrt{\frac{P_s}{\rho_a} \left( 1 - \left( 1 + \frac{P_s}{A_a} \right)^{-\frac{1}{m_a}} \right)};$$

$$D_s = \frac{P_s}{\rho_a u_s}, \quad (1)$$

где  $u_s$  – скорость ПД за фронтом УВ;  $D$  – скорость детонации взрывчатого вещества (ВВ);  $n$  – показатель адиабаты ПД;  $P_s$  – давление во фронте УВ;  $P_i$  – давление во фронте детонационной волны;  $\rho_a$  – плотность воды;  $A_a$ ,  $m_a$  – коэффициенты в уравнении Тэта для воды ( $A_a = 0,3$  ГПа,  $m_a = 7,14$ );  $D_s$  – скорость УВ.

При подстановке в (1) числовых значений можно получить: 1)  $D = 4200$  м/с;  $P_i = 4,6$  ГПа;  $P_s = 4,18$  ГПа;  $u_s = 1148$  м/с;  $D_s = 3641$  м/с; 2)  $D = 4400$  м/с;  $P_i = 5,3$  ГПа;  $P_s = 4,68$  ГПа;  $u_s = 1234$  м/с;  $D_s = 3792$  м/с; 3)  $D = 4750$  м/с;  $P_i = 7,5$  ГПа;  $P_s = 6$  ГПа;  $u_s = 1443$  м/с;  $D_s = 4158$  м/с.

Для определения начальных параметров ударных волн при нижнем инициировании в забойке из частиц скальных пород в воде воспользуемся ударной адиабатой для двухкомпонентных конденсированных сред [2]. Тогда начальные параметры УВ определяются из уравнений [1, 2]:

$$u_s = \frac{D}{4} \left( 1 - \sqrt{2n} \frac{(P_s / P_i) - 1}{\sqrt{(n+1)(P_s / P_i + (n-1))}} \right) = \sqrt{\frac{P_s}{\rho} \left( 1 - \alpha \left( 1 + \frac{P_s}{A_a} \right)^{-\frac{1}{m_a}} - (1-\alpha) \left( 1 + \frac{P_s}{A_h} \right)^{-\frac{1}{m_h}} \right)};$$

$$D_s = \frac{P_s}{\rho u_s}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность забойки ( $\rho = \alpha \rho_a + (1-\alpha)\rho_i$ );  $\alpha$  – часть объема, занимаемого водой;  $A_a, A_h$  – коэффициенты в уравнении Гэта для частиц пород. Для скальных пород коэффициент  $m_h = 4$ .

Множитель  $A_h$  для скальных пород имеет одинаковый порядок величины и существенно не отличается по значащим цифрам, поэтому можно взять  $A_h = 23$  ГПа для гранита. Определены параметры УВ для трех типов ВВ при  $\alpha = 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4$  (табл. 1).

Начальные параметры ударных волн в сухой забойке при нижнем инициировании определяются из формул [1, 2]:

$$u_s = \frac{D}{4} \left( 1 - \sqrt{2n} \frac{(P_s / P_i) - 1}{\sqrt{(n+1)(P_s / P_i + (n-1))}} \right) = \sqrt{\frac{P_s}{\rho} \left( 1 - (1-\alpha) \left( 1 + \frac{P_s}{A} \right)^{-\frac{1}{m}} \right)};$$

Таблица 1  
Параметры ударной волны в водонасыщенной забойке при нижнем инициировании

$D = 4200$ м/с; $P_i = 4,6$ ГПа				$D = 4400$ м/с; $P_i = 5,3$ ГПа				$D = 4750$ м/с; $P_i = 7,5$ ГПа			
$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с	$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с	$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с
0,2	6,87	601	4927	0,2	7,74	657	5078	0,2	10,18	806	5444
0,25	6,67	635	4695	0,25	7,52	692	4858	0,25	9,89	844	5238
0,3	6,49	668	4508	0,3	7,32	726	4672	0,3	9,69	868	5186
0,35	6,31	700	4350	0,35	7,11	760	4515	0,35	9,33	918	4905
0,4	6,14	732	4215	0,4	6,92	795	4374	0,4	9,07	955	4773

Таблица 2  
Параметры ударных волн в сухой забойке при нижнем инициировании

$D = 4200$ м/с; $P_i = 4,6$ ГПа				$D = 4400$ м/с; $P_i = 5,3$ ГПа				$D = 4750$ м/с; $P_i = 7,5$ ГПа			
$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с	$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с	$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с
0,2	6,01	833	3403	0,2	6,77	893	3576	0,2	8,82	1044	3985
0,25	5,56	900	3108	0,25	6,26	963	3271	0,25	8,67	1159	3764
0,3	5,15	963	2883	0,3	5,80	1028	3041	0,3	7,51	1186	3414
0,35	4,76	1024	2699	0,35	5,36	1092	2850	0,35	6,92	1254	3178
0,4	4,39	1084	2547	0,4	4,94	1154	2692	0,4	6,35	1354	3028

$$D_s = \frac{P_s}{u_s \rho}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность забойки;  $A, m$  – коэффициенты в уравнении Гэта для вещества частиц забойки.

Подстановка числовых значений в (3) дает значения параметров УВ (табл. 2).

Следует отметить, что, так как за фронтом детонационной волны в ПД движется волна разрежения, то давление во фронте УВ будет быстро убывать.

При верхнем инициировании по взрывчато-му веществу к забойке распространяется детонационная волна. На пути в несколько диаметров скважины наблюдается режим недосжатой детонационной волны. За ее фронтом распространяется волна разрежения, которая при нормальном режиме детонации занимает область при  $n = 3$ , равную половине расстояния, пройденного ДВ. Расчеты показывают, что за время, существенно меньшее времени вылета забойки, в продуктах детонации установится давление [1]  $P_{i1} = (8/27)P_i$ , где  $P_i$  – давление во фронте детонационной волны, а скорость ПД равна нулю. На границе раздела ПД–забойка скорость ПД и материала забойки равна [1]

$$u_s = \frac{2}{n-1}(C_1 - C_s), \quad (4)$$

где  $C_1$  – скорость звука в ПД при давлении  $P_{i1}$  (при  $n = 3$   $C_1 = D/2$ );  $C_s$  – скорость звука ПД при давлении на фронте УВ  $P_s$ .

Из уравнения ударной адиабаты для продуктов взрыва вытекает, что

$$C_s = C_1 \left( \frac{P_s}{P_{i1}} \right)^{\frac{n-1}{2n}}. \quad (5)$$

## ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

С учетом (3), (4) начальные параметры УВ в забойке при верхнем инициировании можно определить из уравнений:

$$u_s = \frac{D}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{P_s}{P_{i1}} \right)^{\frac{n-1}{2n}} \right) = \sqrt{\frac{P_s}{\rho} \left( 1 - \left( 1 + \frac{P_s}{A} \right)^{-\frac{1}{m}} \right)}; \quad D_s = \frac{P_s}{u_s \rho}, \quad (6)$$

где  $\rho$  - плотность материала забойки;  $A$ ,  $m$  - коэффициенты в уравнении Тэта для материала забойки.

Подстановка числовых значений величин ( $n = 3$ ;  $A = 2,99 \cdot 10^8$  Па;  $m = 7,15$ ) дает следующие параметры ударных волн в воде при верхнем инициировании. При  $D = 4200$  м/с,  $P_i = 4,6$  ГПа:  $P_s = 0,78$  ГПа;  $u_s = 357$  м/с;  $D_s = 2185$  м/с. При  $D = 4400$  м/с,  $P_i = 5,3$  ГПа:  $P_s = 0,873$  ГПа;  $u_s = 390$  м/с;  $D_s = 2238$  м/с. При  $D = 4750$  м/с,  $P_i = 7,5$  ГПа:  $P_s = 1,14$  ГПа;  $u_s = 474$  м/с;  $D_s = 2405$  м/с.

Начальные параметры УВ в забойке из частиц скальных пород при верхнем инициировании определяются из уравнений [2]:

$$u_s = \frac{D}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{P_s}{P_{i1}} \right)^{\frac{n-1}{2n}} \right) = \sqrt{\frac{P_s \alpha}{\rho}}; \quad D_s = \frac{u_s}{\alpha}, \quad (7)$$

где  $\rho$  - насыпная плотность забойки;  $\alpha$  - пористость.

В табл. 3 приведены результаты численных расчетов для трех типов ВВ при различных значениях пористости (сухая забойка).

Начальные параметры УВ в забойке из частиц скальных пород и воды при верхнем инициировании находятся из уравнений [3]

$$u_s = \frac{D}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{P_s}{P_{i1}} \right)^{\frac{n-1}{2n}} \right) = \sqrt{\frac{P_s}{\rho} \left( 1 - \alpha \left( 1 + \frac{P_s}{A_a} \right)^{-\frac{1}{m_a}} - (1-\alpha) \left( 1 + \frac{P_s}{A} \right)^{-\frac{1}{m}} \right)}; \quad D_s = \frac{P_s}{u_s \rho}, \quad (8)$$

где  $A$ ,  $m$  - коэффициенты в уравнении Тэта для породы;  $\alpha$  - часть объема, занимаемая водой.

В табл. 4 приведены результаты численных расчетов ( $n = 3$ ,  $A = 23$  ГПа,  $m = 4$ ) для трех типов ВВ при различных  $\alpha$  в водонасыщенной забойке.

При определении времени вылета забойки, за невозможностью учета волновых процессов в скважине, давление усредняют, т. е. рассматривают модель мгновенной детонации.

Начальные параметры УВ в водяной забойке при мгновенной детонации находятся из уравнений [1]:

$$u_s = \sqrt{\frac{2n}{n+1}} \cdot \frac{D}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{P_s}{\bar{P}_i} \right)^{\frac{2n}{n-1}} \right) = \sqrt{\frac{P_s}{\rho_a} \left( 1 - \left( 1 + \frac{P_s}{A_a} \right)^{-\frac{1}{m_a}} \right)}; \quad D_s = \frac{P_s}{u_s \rho_a}, \quad (9)$$

где  $\bar{P}_i = P_i / 2$  - давление ПВ при мгновенной детонации.

При подстановке числовых значений в (9) можно получить: 1)  $D = 4200$  м/с,  $P_i = 4,6$  ГПа:  $P_s = 1,25$  ГПа;  $u_s = 473$  м/с;  $D_s = 2480$  м/с;

Таблица 3

**Начальные параметры ударных волн при различных значениях пористости (верхнее инициирование)**

$D = 4200$ м/с; $P_i = 4,6$ ГПа				$D = 4400$ м/с; $P_i = 5,3$ ГПа				$D = 4750$ м/с; $P_i = 7,5$ ГПа			
$\alpha$	$P_s, 10^8$ Па	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с	$\alpha$	$P_s, 10^8$ Па	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с	$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с
0,2	8,74	287	1435	0,2	10,0	307	1535	0,2	1,35	358	1790
0,25	8,25	322	1288	0,25	9,42	344	1376	0,25	1,28	401	1604
0,3	7,80	355	1183	0,3	8,89	379	1263	0,3	1,20	440	1467
0,35	7,38	387	1106	0,35	8,40	413	1180	0,35	1,13	479	1369
0,4	6,97	419	1047	0,4	7,94	447	1117	0,4	1,06	517	1293

Таблица 4

**Начальные параметры ударных волн для трех типов ВВ при различных  $\alpha$  (верхнее инициирование)**

$D = 4200$ м/с; $P_i = 4,6$ ГПа				$D = 4400$ м/с; $P_i = 5,3$ ГПа				$D = 4750$ м/с; $P_i = 7,5$ ГПа			
$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с	$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с	$\alpha$	$P_s$ , ГПа	$u_s$ , м/с	$D_s$ , м/с
0,2	1,09	150	3132	0,2	1,24	165	3239	0,2	1,68	209	3465
0,25	1,07	163	2934	0,25	1,21	181	2988	0,25	1,64	227	3229
0,3	1,04	177	2726	0,3	1,19	195	2832	0,3	1,6	244	3042
0,35	1,02	190	2591	0,35	1,16	209	2679	0,35	1,56	262	2874
0,4	1,00	202	2488	0,4	1,14	222	2580	0,4	1,53	276	2786

2)  $D = 4400$  м/с;  $P_i = 5,3$  ГПа;  $P_s = 1,33$  ГПа;  $u_s = 504$  м/с;  $D_s = 2679$  м/с; 3)  $D = 4750$  м/с;  $P_i = 7,5$  ГПа;  $P_s = 1,82$  ГПа;  $u_s = 623$  м/с;  $D_s = 2921$  м/с.

Когда забойка сухая, начальные параметры определяются из уравнений [1, 3]:

$$u_s = \sqrt{\frac{2n}{n+1} \cdot \frac{D}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{P_s}{P_i} \right)^{\frac{2n}{n-1}} \right)} = \sqrt{\frac{P_s}{\rho} \left( 1 - (1-\alpha) \left( 1 + \frac{P_s}{A} \right)^{-\frac{1}{m}} \right)};$$

$$D_s = \frac{P_s}{u_s \rho}, \quad (10)$$

где  $\rho$  – насыпная плотность забойки.

Результаты численных расчетов приведены в табл. 5.

Когда забойка водонасыщена, начальные параметры ударной волны при мгновенной детонации находятся из уравнений [1, 3]:

$$u_s = \sqrt{\frac{2n}{n+1} \cdot \frac{D}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{P_s}{P_i} \right)^{\frac{2n}{n-1}} \right)} = \sqrt{\frac{P_s}{\rho} \left( 1 - \alpha \left( 1 + \frac{P_s}{A_a} \right)^{-\frac{1}{m_a}} - (1-\alpha) \left( 1 + \frac{P_s}{A} \right)^{-\frac{1}{m}} \right)};$$

$$D_s = \frac{P_s}{u_s \rho}. \quad (11)$$

Результаты численных расчетов приведены в табл. 6.

В случае, когда пористость забойки меньше 20 % или давление в УВ несколько ГПа, необходимо учитывать сжимаемость конденсированного вещества забойки. Пусть ударная сжимаемость конденсированного вещества определяется уравнением Тэта с коэффициентами  $A, m$ , тогда массовая скорость вещества равна

$$u_s = \sqrt{P_s \left( \frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \right)}, \quad (12)$$

где  $P_s$  – давление;  $\rho_0$  – плотность забойки;  $\rho$  – плотность забойки за фронтом УВ.

Если забойка состоит из двухкомпонентной среды, то  $\rho_0 = \rho_m(1 - \alpha)$ , где  $\rho_m$  – плотность конденсированной компоненты забойки;  $\alpha$  – пористость.

Подстановка  $\rho_0$  в (9) дает

$$u_s = \sqrt{\frac{P_s}{\rho_0} \left( 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right)} = \sqrt{\frac{P_s}{\rho_0} \left( 1 - (1-\alpha) \left( 1 + \frac{P_s}{A} \right)^{-\frac{1}{m}} \right)}. \quad (13)$$

Когда забойка состоит из трехкомпонентной среды, например, воздух, вода и твердые частицы, то выражение для массовой скорости забойки за фронтом УВ имеет вид

$$u_s = \sqrt{\frac{P_s}{\rho} \left( 1 - (1-\alpha) \left( \alpha_1 \left( 1 + \frac{P_s}{A_1} \right)^{-\frac{1}{m_1}} + \alpha_2 \left( 1 + \frac{P_s}{A_2} \right)^{-\frac{1}{m_2}} \right) \right)}, \quad (14)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – удельный объем, занимаемый конденсированными компонентами;  $A_1, m_1, A_2, m_2$  – коэффициенты в уравнении ударной сжимаемости для компонент;  $\rho = \rho_1 \alpha_1 + \rho_2 \alpha_2$ ;  $\rho_1, \rho_2$  –

Таблица 5

Начальные параметры ударных волн в сухой забойке при мгновенной детонации

$D = 4200$ м/с; $P_i = 4,6$ ГПа				$D = 4400$ м/с; $P_i = 5,3$ ГПа				$D = 4750$ м/с; $P_i = 7,5$ ГПа			
$\alpha$	$P_{ср}$ ГПа	$u_{ср}$ м/с	$D_{ср}$ м/с	$\alpha$	$P_{ср}$ ГПа	$u_{ср}$ м/с	$D_{ср}$ м/с	$\alpha$	$P_{ср}$ ГПа	$u_{ср}$ м/с	$D_{ср}$ м/с
0,2	1,47	356	1948	0,2	1,68	380	2085	0,2	2,28	443	2428
0,25	1,39	395	1770	0,25	1,59	421	1900	0,25	2,15	491	2203
0,3	1,33	429	1671	0,3	1,51	459	1773	0,3	2,04	533	2063
0,35	1,27	462	1596	0,35	1,44	494	1692	0,35	1,94	572	1969
0,4	1,21	494	1540	0,4	1,38	526	1650	0,4	1,85	610	1907

Таблица 6

Начальные параметры ударных волн в водонасыщенной забойке при мгновенной детонации

$D = 4200$ м/с; $P_i = 4,6$ ГПа				$D = 4400$ м/с; $P_i = 5,3$ ГПа				$D = 4750$ м/с; $P_i = 7,5$ ГПа			
$\alpha$	$P_{ср}$ ГПа	$u_{ср}$ м/с	$D_{ср}$ м/с	$\alpha$	$P_{ср}$ ГПа	$u_{ср}$ м/с	$D_{ср}$ м/с	$\alpha$	$P_{ср}$ ГПа	$u_{ср}$ м/с	$D_{ср}$ м/с
0,2	1,78	210	3653	0,2	2,02	232	3753	0,2	2,73	292	4030
0,25	1,74	227	3426	0,25	1,98	250	3540	0,25	2,66	313	3793
0,3	1,71	243	3265	0,3	1,94	267	3372	0,3	2,60	334	3612
0,35	1,67	260	3100	0,35	1,89	286	3189	0,35	2,54	354	3463
0,4	1,64	275	2997	0,4	1,85	302	3088	0,4	2,48	374	3332

плотность вещества конденсированных компонентов.

При определении начальных параметров УВ не учитывалась прочность частиц забойки. Ударные волны в процессе распространения испытывают силу сопротивления, равную динамическому пределу текучести вещества забойки. При достаточно сильной УВ частицы забойки разрушаются, и чем сильнее волна, тем больше сила сопротивления. Материал забойки, как правило, состоит из частиц. Чем меньше размеры частиц, тем меньше сопротивление. Учесть силу сопротивления, действующую на ударную волну, очень сложно, поэтому полученные параметры волн несколько завышены.

Уравнения для ударных волн формально справедливы при любых избыточных давлениях. Однако УВ возникают лишь при давлениях, превышающих определенные значения. Для однофазной среды давление, необходимое для возбуждения УВ, имеет вид [3]:

$$P_s = \frac{2Am}{m+1} = \frac{2\rho_0 C_0^2}{m+1}, \quad (15)$$

где  $A, m$  – коэффициенты в уравнении ударной сжимаемости Тэта;  $\rho_0$  – плотность вещества;  $C_0$  – скорость продольной волны напряжений.

Давление  $P_s$  для воды ( $m = 7,15; A = 2,99 \times 10^8$  Па) равно  $P_s = 5,25 \times 10^8$  Па. Для конденсированной двухкомпонентной среды коэффициент  $m$  находится из формулы [3]

$$\left(\frac{2m}{m+1} + 1\right)^{\frac{1}{m}} = \alpha \left(\frac{2\rho_1 C_1^2}{A_1(m+1)}\right)^{\frac{1}{m_1}} + (1-\alpha) \left(\frac{2\rho_2 C_2^2}{A_2(m+1)}\right)^{\frac{1}{m_2}}, \quad (16)$$

где  $\alpha$  – удельный объем первой компоненты;  $\rho_1, \rho_2$  – плотность компонент;  $C_1, C_2$  – скорости волн напряжений;  $A_1, A_2$  – коэффициенты Тэта компонент.

Подстановка числовых значений для воды и частиц гранита дает значения  $m$ .

При удельном объеме воды  $\alpha = 0,2, m = 4,18; \alpha = 0,25, m = 4,25; \alpha = 0,3, m = 4,33; \alpha = 0,35, m = 4,42; \alpha = 0,4, m = 4,52$ .

Скорость волны напряжений в двухкомпонентной конденсированной среде можно теоретически оценить по формуле [3]

$$C_0 = \left(\rho_0 \left(\frac{\alpha}{A_1 m_1} + \frac{(1-\alpha)}{A_2 m_2}\right)\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (17)$$

где  $\rho_0$  – плотность среды.

Подстановка числовых величин позволяет получить скорости  $C_0$  для забойки из воды и

частиц гранита:  $\alpha = 0,2, C_0 = 2053$  м/с;  $\alpha = 0,25, C_0 = 1890$  м/с;  $\alpha = 0,3, C_0 = 1771$  м/с;  $\alpha = 0,35, C_0 = 1648,4$  м/с;  $\alpha = 0,4, C_0 = 1548$  м/с.

По формуле (15) находим давление, необходимое для возбуждения волны в забойке из частиц гранита в воде:  $\alpha = 0,2, P_s = 3,77$  ГПа;  $\alpha = 0,25, P_s = 3,04$  ГПа;  $\alpha = 0,3, P_s = 2,54$  ГПа;  $\alpha = 0,35, P_s = 2,08$  ГПа;  $\alpha = 0,4, P_s = 1,73$  ГПа.

Давление, необходимое для возникновения УВ в забойке из частиц, можно оценить по формуле

$$P_s = \alpha \rho_0 C_0^2, \quad (18)$$

где  $\alpha$  – пористость забойки;  $\rho_0$  – плотность забойки;  $C_0$  – скорость волны напряжений в забойке. При  $\alpha = 0,346, C_0 = 700$  м/с;  $\rho_0 = 1740$  кг/м<sup>3</sup>;  $P_s = 2,95 \times 10^8$  Па. При  $\alpha = 0,25, C_0 = 1300$  м/с;  $\rho_0 = 2000$  кг/м<sup>3</sup>;  $P_s = 8,45 \times 10^8$  Па.

После сжатия сыпучего материала забойки в ударной волне она исчезает, но забойка продолжает двигаться с начальной скоростью  $u_s$ . Уравнения для УВ получены из закона сохранения массы и второго закона Ньютона и закона сохранения энергии, т. е. при рассмотрении процессов вылета забойки можно использовать эти уравнения и в случае, когда ударная волна не возникает или вырождается в волну сжатия.

### Выводы

Таким образом, в работе определены начальные параметры ударных волн для забойки из сыпучих материалов, воды и двухфазных конденсированных сред. Параметры ударных волн получены для типичных бризантных взрывчатых веществ малой, средней и большой мощности.

Установлено, что при несрабатывании верхнего боевика (нижнее инициирование) в забойке возникает достаточно сильная ударная волна. Причем, твердое вещество забойки в ее нижней части будет разрушено на частицы, существенно меньшие одного миллиметра. Массовая скорость вещества забойки примерно равна 1 км/с. При верхнем инициировании водонасыщенной забойки ударная волна не возникает, а массовая скорость материала забойки в этом случае примерно в 3 раза меньше, чем при нижнем инициировании. Наименьшая начальная скорость вылета забойки (примерно 150 м/с) наблюдается при пористости 0,4. В случае водяной забойки возникает слабая ударная волна при начальной скорости забойки за ее фронтом 357-474 м/с. Выбор материала забойки зависит от крепости и трещиноватости породы.

### Библиографический список

1. Физика взрыва / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович [и др]. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

2. Куринной В. П. Исследование ударных волн в пористой среде / В. П. Куринной, И. П. Гаркуша, Л. В. Прохорец // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 111. – С. 67-73.

3. Определение коэффициентов в уравнении Тэта для многокомпонентных конденса-

рованных сред / И. П. Гаркуша, В. П. Куринной, В. Н. Мандрикевич, И. И. Усик // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: збірник статей. – 2012. – Вип. 10 (12). – С. 52-59.

Поступила 23.06.2015



УДК 622.271:622.882

Наука

Прокопенко В. І. /д. т. н./, Череп А. Ю. /к. т. н./  
Державний ВНЗ «Національний гірничий  
університет»

## Облаштування земної поверхні після відкритої розробки горизонтального родовища

*Виконано аналіз об'єктів ландшафтних порушень при відкритій розробці родовищ. Встановлені заходи щодо погашення залишкових гірничих виробок і формування рельєфу земної поверхні на кар'єрах Орджонікідзевського ГЗК. Досліджено принципові підходи доопрацювання кар'єрів урахувавши систему розробки. Іл. 1. Табл. 3. Бібліогр.: 6 найм.*

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи, кар'єр, порушення земель, рекультивация, доопрацювання кар'єру, відвалоутворення, вироблений простір

*There fulfilled analysis of landscape troubles while open mining. Means concerning blackout of residual mine working and surface relief formation at open mines in Ordzhonikidze mining and processing works are established. Principled approaches of mines adaptation considering development system are investigated.*

**Keywords:** open mining, open pit, land disturbances, reclaiming, mine adaptation, refuse disposal, mined-out space

При відкритій розробці родовищ актуальним є облаштування земної поверхні. Землі, порушені відкритими гірничими розробками, стають непридатними для використання по конкретному напрямку, якщо вони не зазнають відповідного відновлення. Наприклад, на Орджонікідзевському гірничо-збагачувальному комбінаті (ОГЗК) площа ландшафтних порушень, зайнята кар'єрами, становить 9,2 %, промисловими майданчиками, дорогами й іншими об'єктами – 7,8 %, внутрішніми – 64 % і зовнішніми відвалами – 10,6 %, хвостосховищами, гідровідвалами, водоймищами – 3,3 % [1]. На кінець 2014 р., у зв'язку із завершенням комплексу робіт з технічної й біологічної рекультивации, комбінат повинен був повернути державі в користування рекультивовані землі площею близько 170 га, у тому числі 100 га – під орні землі, 70 га – лісові угіддя. Також мають місце еколо-

гічні порушення, які призводять до погіршення умов життя людини в межах гірничого відводу й прилягаючих до нього територіях.

Аналіз наукових праць [2-6] свідчить, що задачі облаштування земної поверхні, порушеної відкритими гірничими розробками, практично не розглядалися стосовно умов етапу доопрацювання родовища та погашення кар'єру. Тому метою статті є оцінка сучасних перспектив експлуатації родовища ОГЗК, систематизация технологічних і організаційних заходів по зниженню негативних наслідків видобувного комплексу на території доопрацювання марганцевих кар'єрів, а також аналіз і узагальнення науково-практичної інформації із різних напрямів відновлення земель для їх подальшого використання.

Для відновлення порушеного природного середовища етап доопрацювання кар'єрного поля