

ВТОРАЯ СТАДИЯ БЕЗВОЛНОВОГО РАСШИРЕНИЯ ПОЛОСТИ СОСРЕДОТОЧЕННОГО ЗАРЯДА ВВ

В технической литературе [1-6] широко распространено мнение, что дробление горной породы при взрыве осуществляется волнами напряжений, что на дробление затрачивается лишь 1-5 % энергии волн напряжений

При взрыве заряда ВВ в горной породе характер передачи энергии во внешнюю среду зависит от свойств ВВ, плотности заряжания, геометрии заряда и его положения в массиве.

Наиболее полно исследован процесс взрыва сосредоточенного заряда в безграничной среде (камуфлетный взрыв). Объем сосредоточенного заряда V_0 принимается в виде шара с радиусом r_0 . Масса заряда определяется объемом камеры V_0 и плотностью заряжания ρ_0 :

$$M = \rho_0 V_0.$$

Энергия заряда

$$E = 4186,8 MQ,$$

где Q – теплота взрыва ВВ, ккал/кг.

Среднее давление продуктов детонации в зарядной камере по гипотезе мгновенной детонации [2]

$$P_{cp} = \rho_0 D^2 / 8,$$

где D – скорость детонации, м/с.

Изменение давления в камере при ее расширении можно описать двумя сопрягающимися изэнтропами

$$PV^k = \text{const}, \quad PV^\gamma = \text{const},$$

где k и γ – показатель изэнтропы соответственно переуплотненного и идеального газа, $k = 3$, $\gamma = 1,3$.

При вырождении переуплотненных продуктов детонации в идеальный газ: объем полости

$$V_1 = V_0 \sqrt{D^2 / 8N}; \quad N = 0,3(427Qg - D^2 / 16),$$

радиус полости

$$r_1 = r_0 \sqrt[3]{V_1 / V_0},$$

давление в полости

$$P_1 = P_{cp} (V_0 / V_1)^3,$$

энергия продуктов детонации

$$E_1 = P_1 V_1 / (\gamma - 1).$$

После формирования волны напряжений развивается этап безволнового расширения полости, заполненной продуктами детонации. В течение этого этапа полость расширяется до максимального размера и основные зоны разрушения вокруг полости завершают свое развитие [1]. В такой полости: предельный радиус

$$r_p = \frac{0,61 \sqrt[3]{E}}{(\rho_0 c^2 \sigma_{ск}^2)^{1/9}};$$

предельный объем

$$V_p = \frac{4}{3} \pi r_p^3;$$

давление в предельной полости

$$P_p = P_1 (V_1 / V_p)^\gamma.$$

энергия продуктов детонации

$$E_p = P_p V_p / (\gamma - 1).$$

За время расширения полости до предельного объема в окружающий массив передана энергия $E_{пер.1} = E - E_p$.

В работе [1] приведены параметры безволнового этапа расширения полости при взрыве в плексиглазе заряда тэна радиусом 0,5 см, массой 0,8 г, полученные авторами на основе расчетов и экспериментальных измерений. Сравним приведенные в этой работе параметры с аналогичными параметрами, рассчитанными нами по вышеизложенной методике (табл.1). Анализ табл.1 показывает, что параметры, рассчитанные по изложенной методике, достаточно близки к параметрам, полученным авторами работы [1]. Точный расчет повторить не удалось из-за отсутствия в работе [1] некоторых необходимых для расчета численных значений по условиям взрывания.

Таблица 1

Сравнение некоторых параметров первой стадии расширения полости

Источник	r_0 , мм	ρ_0 , г/см ³	M , г	r_p/r_0	E_p/E , %	$E_{пер.1}/E$, %
По [1]	5	-	0,8	2	29	71
Расчет авторов	6	0,9	0,8	2,1	22,5	77,5

При взрыве заряда ВВ вблизи обнаженной поверхности характер расширения полости резко меняется. Наличие свободной поверхности приводит к асимметрии не только полости, но и зоны разрушения. В области, прилегающей к обнажению, дробление и деформация среды более интенсивны. Это объясняется как отражением волны сжатия от свободной поверхности, так и свободой перемещения грунта в направлении к обнажению [6]. Реализуется второй этап расширения полости. Под влиянием обнаженной поверхности полость продолжает расширяться несимметрично, вытягивается в сторону обнаженной поверхности и принимает грушевидную форму. Полость выходит на уровень обнаженной поверхности, соединяется через разломы во вспученном материале с атмосферой и продукты детонации вместе с раздробленным материалом выбрасываются из массива горной породы. В объем воронки дробления, пропорционально смещениям границы полости по направлениям, передается разное количество энергии от продуктов детонации.

Второй этап расширения полости при взрыве сосредоточенного заряда у обнаженной поверхности рассматривается в дальнейшем при следующих допущениях (см. рисунок):

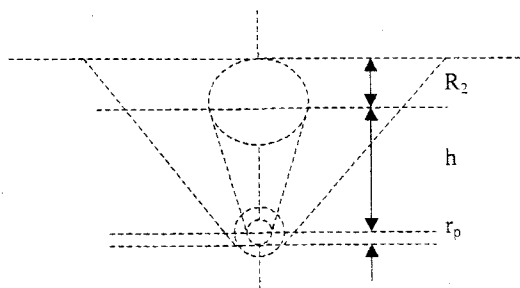


Схема расширения полости сосредоточенного заряда у обнаженной поверхности

– при достижении предельного размера верхняя точка полости выходит на уровень обнаженной поверхности;

– грушевидную форму полости можно отождествить с усеченным конусом, ограниченным полусферами;

– радиус малой полусферы равен радиусу предельной полости камуфлетного взрыва;

– радиус большой полусферы зависит от линии наименьшего сопротивления и показателя действия взрыва.

Функция показателя действия взрыва для сосредоточенных зарядов

$$f(n) = (0,4 + 0,6n^3)Me / q_3 w^3,$$

где M – масса заряда, кг; e – переводный коэффициент для расчета эквивалентных зарядов; q_3 – эталонный удельный расход ВВ, кг/м³; w – линия наименьшего сопротивления, м; n – показатель действия взрыва.

Зная функцию показателя действия взрыва, по табл.2 можно определить показатель действия взрыва.

Таблица 2

Зависимость показателя действия взрыва от функции показателя действия взрыва для сосредоточенных зарядов

$f(n)$	n	$f(n)$	n	$f(n)$	N
0,44	0,40	1,00	1,00	2,86	1,60
0,46	0,45	1,10	1,05	3,10	1,65
0,48	0,50	1,20	1,10	3,35	1,70
0,50	0,55	1,31	1,15	3,62	1,75
0,53	0,60	1,44	1,20	3,90	1,80
0,57	0,65	1,52	1,25	4,20	1,85
0,61	0,70	1,72	1,30	4,52	1,90
0,63	0,75	1,88	1,35	4,85	1,95
0,71	0,80	2,05	1,40	5,20	2,00
0,77	0,85	2,23	1,45	5,57	2,05
0,84	0,90	2,43	1,50	5,96	2,10
0,91	0,95	2,63	1,55	6,36	2,15

Радиус малой полусферы

$$r_2 = r_p;$$

радиус большой полусферы

$$R_2 = 0,25 wn;$$

высота конической части полости

$$h_2 = w - R_2.$$

К концу второй стадии расширения полости: предельный объем полости

$$V_{p2} = 0,5V_p + \frac{2}{3}\pi R_2^3 + \frac{\pi h_2}{3}(r_p^2 + r_p R_p + R_p^2);$$

давление в полости

$$P_{p2} = P_p (V_p / V_{p2})^\gamma;$$

энергия продуктов детонации

$$E_{p2} = P_{p2} V_{p2} / (\gamma - 1).$$

За вторую стадию расширения полости в окружающий массив передана энергия

$$E_{\text{пер.2}} = E_p - E_{p2}.$$

По изложенной методике выполнены расчеты параметров первой и второй стадии расширения полости сосредоточенного заряда, взорванного на обнаженную поверхность. Расчеты выполнены для четырех вариантов радиусом 125 мм в кварците. Свойства кварцита: предел прочности на сжатие 2400 кг/см³, скорость продольной волны 6000 м/с, плотность 3,5 г/см³. Результаты расчета представлены в табл.3-5.

Таблица 3

Геометрические параметры расширения полости

ВВ	ρ , г/см ³	V_0 , см ³	G , кг	R_{p1}	V_{p1}	$V_{p1}+V_{p2}$
Игданит	0,9	8200	7,36	1,19	1,7	100
Граммонит 79/21	0,9	8200	7,36	1,24	1,9	100
Гранулотол	0,9	8200	7,36	1,18	1,6	82
ГЛТ-20	1,45	8200	11,86	1,4	2,6	156

Были рассчитаны безразмерные радиусы и безразмерные объемы (фактические объемы отнесены к объемам зарядных камер) первой и второй стадии расширения зарядной полости (табл.3); силовые параметры в зарядной камере, в полости первой стадии и второй стадии расширения (табл.4). Среднее давление в зарядной камере в рассматриваемых примерах различается в четыре раза. Давление в полости первой стадии расширения различается менее чем в полтора раза. Давление в полости второй стадии расширения колеблется от 15 до 25 атмосфер.

Таблица 4

Силовые параметры расширения полости

ВВ	Давление в камере (в полости), МПа		
	P_0	P_1	P_2
Граммонит 79/21	1800	430	2,5
Гранулотол	2713	386	1,5
Игданит	1013	454	2,3
ГЛТ-20	4531	335	1,6

Таблица 5

Энергетические параметры расширения полости

ВВ	Энергия заряда, Дж	Энергия, %		
		переданная в породе на первой стадии	переданная в породе на второй стадии	остаточная продуктов детонации
Граммонит 79/21	31 750 000	30	49	21
Гранулотол	27 130 000	37	46	17
Игданит	28 360 000	26	52	22
ГЛТ-20	43 710 000	45	39	16

Расчет энергетических параметров показал, что от 30 до 45 % энергии заряда передается в породе на первой стадии разрушения. В горных породах эта энергия частично затрачивается на формирование волн напряжений. Часть ее затрачивается на переизмельчение породы в ближней зоне. Во второй стадии расширения в породе передается от 39 до 52 % энергии заряда. Именно эта часть энергии совершает работу дробления основного объема горной массы в объеме воронки выброса. Не считая энергии, затраченной на переизмельчение небольшого объема породы в ближней зоне, можно смело утверждать, что на генеральное дробление горной породы в объеме воронки выброса затрачивается 39-52 % энергии заряда.

Дробление горной массы в ближней зоне осуществляется в условиях «сжатия» с высокой затратой энергии образования единицы новой поверхности. Генеральное дробление горной массы на второй стадии расширения полости осуществляется в условиях «растяжения» (увеличения объема элементарных зон возмущения) с низкой (на два порядка) удельной энергией образования единицы новой поверхности. Вот почему дробление породы взрывом осуществляется эффективно в объеме воронки выброса, там, где волны напряжений дробить породу не в состоянии.

В наших примерах в продуктах детонации осталось от 16 до 22 % энергии. Она затрачивается на перемещение отбитой горной массы, на формирование навала породы, на разлет кусков породы и газа, на формирование воздушной ударной волны.

Выводы

1. В производственных условиях генеральное дробление горной породы осуществляется не волнами напряжений, а за счет энергии второй стадии безволнового расширения полости.
2. На генеральное дробление горной породы затрачивается не 1-5 % энергии заряда, а 39-52 %.
3. Распределение энергии по стадиям расширения полости очень чувствительно к свойствам ВВ и горных пород. Оно будет изменяться и при изменении формы заряда и глубины его заложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В. Модельные исследования разрушения горных пород взрывом // Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород / ИПКОН РАН. М., 1998. С. 18-29.
2. Баум Ф.А. Физика взрыва. М.: Наука, 1975. 704 с.
3. Демидюк Г.П. Современные теоретические представления о действии взрыва в среде // Буровзрывные работы в горной промышленности. М: Госгортехиздат, 1962. С. 223-240.
4. Казаков Н.Н. Взрывная отбойка руд скважинными зарядами. М.: Недра. 1998. 191 с.
5. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом / МГГИ. М., 1992. 516 с.
6. Родионов В.Н. Механический эффект подземного взрыва / В.Н.Родионов, В.В.Адушкин, В.Н.Костюченко и др. М.: Недра, 1971. 224 с.