

УДК 622.235.2

Джос В.Ф., Филь В.И.

К РАСЧЕТУ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗАРЯДОВ ПВС И ЗОН РАЗРУШЕНИЯ В КРУПНОБЛОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Стаття присвячена аналітичним розрахункам працездатності зарядів найпростіших вибухових речовин місцевого приготування та розрахункам розмірів зон подрібнення при їх використанні для руйнування крупноблокових гірських порід.

TO CALCULATION OF WORK CAPACITY OF CHARGES OF THE ELEMENTARY EXPLOSIVE COMPOSITIONS AND ZONES OF DESTRUCTION IN LARGE-BLOCK ROCKS

The article is dedicated to analytical calculations for definition of functionality of charges of the elementary explosives produced in of management of blasting. Besides the calculations of the sizes of zones of splitting are adduced at application of the elementary explosives for destruction large-block of rocks.

Выделяющееся при взрыве зарядов простейшего состава (ПВС) тепло преобразуется в механическую работу, которую совершают продукты взрыва (ПВ) в процессе своего расширения. Превращение в механическую работу сопровождается значительными потерями энергии ПВС за вычетом химических потерь, выделяемых в момент взрыва в виде тепла.

Работу взрыва зарядов ПВС можно рассматривать как процесс адиабатического расширения продуктов взрыва до предела, ограничиваемого атмосферным давлением.

Работу расширения ПВ до атмосферного давления можно определить как

$$A_n = Q \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \right], \quad (1)$$

где Q — потенциальная энергия (полная тепловая энергия) заряда ПВС, кДж/кг;

V_1 и V_2 — начальный и конечные объемы, м³/кг;

$k = \frac{C_p}{C_v}$ — показатель адиабаты равный отношению теплоемкостей при постоянном объеме и давлении.

Для простейших ВВ (ПВС) показатель адиабаты согласно [1] равен 1,3.

Определим полную работоспособность рецептуры ПВС содержащий 63,3 % гранулированной аммиачной селитры (АС), 30 % дробленой АС, 5,5 % дизельного топлива, 1,2 % поверхностно-активного вещества ПО-2. Указанный состав во время полигонных и промышленных испытаний показал свою эффективность, как с позиции высоких взрывчатых характеристик, так и экологической безопасности (близкий к нулю кислородный баланс).

Плотность при заряджении указанного состава ПВС равна — 1100 кг/м³. Показатель адиабаты — 1,3, а показатели взрывчатого превращения: объем га-

зов взрыва $0,97 \text{ м}^3/\text{кг}$, теплота взрыва 3350 кДж/кг , температура вспышки взрыва $-1280 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вначале определим давление газов взрыва при указанной плотности заряжения по формуле

$$P = \frac{P_0 \cdot V_0 \cdot T \cdot \Delta}{273(1 - V_0 \cdot \Delta)}, \quad (2)$$

где P_0 — атмосферное давление, Па;
 V_0 — объем газов взрыва, $\text{м}^3/\text{кг}$;
 T — температура вспышки взрыва, $^\circ\text{C}$;
 Δ — плотность заряжения, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В результате расчетов получим $P = 5,57 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Полная работоспособность приведенного состава ПВС согласно расчетов по формуле (1) составит 3078 кДж/кг .

Коэффициент полезного действия взрыва при расширении газообразных продуктов взрыва до атмосферного давления определится как

$$\eta_n = \frac{A_n}{Q}, \quad (3)$$

Подставив в выражение (3) значения A_n и Q получим $\eta_n = 0,919$.

Наряду с аналитическими расчетами были проведены полигонные испытания работоспособности различных рецептур ПВС с использованием метода воронкообразования при взрывании в породах с одинаковыми физико-механическими свойствами. Суть метода заключается в определении параметров воронки выброса: минимальный и максимальный диаметр воронки, глубина и объем выброса породы.

Испытаниям подлежали ПВС местного изготовления (на местах производства взрывных работ), рецептуры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 — Параметры воронкообразования при взрыве различных рецептур ПВС

№ п/п	Рецептура используемого ПВС	Глубина воронки, м	Размер большей оси воронки, м	Размер меньшей оси воронки, м	Объем воронки выброса, м^3
1.	АС — 94 %, ДТ — 5,5 %, ПАВ (полиакриламид) — 0,5 %	0,6	0,9	0,85	0,113
2.	АС — 93,5 %, ДТ — 5,5 %, ПАВ — ПО-2 — 1 %	0,6	1,0	0,95	0,141
3.	АС — 93,3 %, ДТ — 5,5 %, алюминий — 1,2 %	0,8	1,2	0,95	0,226
4.	АС — 94,3 %, ДТ — 4,5 %, алюминий — 1,2 %, ПАВ — 1,2 %	0,85	1,1	1,0	0,234
5.	АС — 92,8 %, ДТ — 5,5 %, алюминий — 1,2 %, ПАВ — 0,5 %	0,9	1,3	1,25	0,293
6.	АС — 94,5 %, ДТ — 5,5 %	0,5	0,9	0,9	0,104

Диаметр воронки выброса и ее глубина после производства взрыва определялись путем трехкратного измерения, а их истинное значение устанавливалось как среднее арифметическое. Величина диаметра воронки выброса определялась по значению максимального разрушения горных пород, т.е. большей оси эллипса, минимальное — перпендикулярном к этой оси направлению.

При проведении указанных испытаний на участке с однородными породами были пробурены скважины равной глубины (3 м) и диаметром 150 мм. Масса зарядов ПВС во всех испытаниях была постоянной — 36 кг. Длина колонки заряда 2 м, длина забойки — 1 м.

Во всех испытаниях сохранялось постоянным отношение длины колонки заряда к глубине скважины $k_1 = \frac{h_3}{h_{скв}} = 0,66$. Промежуточный детонатор устанавливался у дна скважины и состоял из двух патронов аммонита 6 ЖВ.

Параметры воронок выброса после каждого экспериментального взрыва измеряли с помощью мерных реек (точность измерений 0,3 см). Результаты измерений представлены в табл. 2.

Анализ данных экспериментальных полигонных взрывов показывает, что с точки зрения взрывной эффективности, наиболее предпочтительным является состав ПВС № 5 (табл. 1), в котором одним из горючих компонентов, кроме дизельного топлива (ДТ), является дисперсный алюминий.

Взрывы этой рецептуры ПВС дают наибольшие размеры воронки выброса, а значит, и объем разрушения горных пород.

Таблица 2 — Параметры зон переизмельчения и трещинообразования при взрыве зарядов различных ВВ

Порода	$\tau_{сж}$, МПа	τ_p , МПа	Тип ВВ	$\rho_{вв}$, кг/м ³	D , м/с	ρ_0 , МПа	Приведенный радиус зоны переизмельчения	Приведенный радиус трещинообразования
Известняк трещиноватый	69	13	ПВС	850-900	2600-3100	718-1112	3,2-3,8	28,3-33,7
Известняк трещиноватый	69	13	гранулит С6М	850-900	2800-3000	833-1012	3,5-3,8	31,1-33,7
Известняк прочный	85	16	ПВС	850-900	2600-3100	718-1112	2,9-3,5	25,5-31,1
Известняк прочный	85	16	гранулит С6М	850-900	2800-3000	833-1012	3,1-3,5	27,3-30,1

Близким к указанному составу ПВС по взрывчатым характеристикам является рецептура ПВС № 4, имеющая в своем составе компонент ПАВ типа ПО-2 (соли жирных кислот).

Наиболее низкие взрывчатые характеристики присущи зарядам игданита (состав № 6 табл. 1), изготовленных из гранулированной АС и дизельного

топлива (ДТ). Поэтому их применение при ведении взрывных работ эффективно лишь в мелкоблочных массивах, где основную разрушающую роль играют газообразные продукты детонации, проникающие в трещины и разделяющие массив горных пород на естественные отдельности.

При исследовании действия взрыва в скальных горных породах можно выделить ряд зон, внутри каждой, из которых напряженное состояние и характер разрушения различны: зона пластических деформаций (зона раздавливания) — ρ , трещинообразования (радиальных трещин) — $r_{тр}$, упругих колебаний (сейсмическая зона).

На основании работ [2, 3] для зоны пластических деформаций можно принять степенной закон убывания амплитуды волны напряжений.

$$\tau_r = \frac{P_0}{r \cdot m}, \quad (4)$$

где P_0 — начальное значение амплитуды волны напряжений;
 r — относительное расстояние от заряда ВВ;

$$r = \frac{r}{r_0} \quad (5)$$

где ρ — радиус зарядной полости;
 $m \approx 2$ — для цилиндрических зарядов ВВ [2];
 $m \approx 3$ — для сферических зарядов ВВ.

На внешней границе раздела заряд-порода радиальные напряжения равны прочности породы $\tau_{сж}$. В этом случае радиус зоны пластических деформаций определяется по формуле:

$$r = \frac{d_0}{2} \sqrt{P_0 \cdot [\tau_{сж}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (6)$$

Относительный радиус зоны пластических деформаций для цилиндрического скважинного заряда:

$$r = \sqrt{P_0 \cdot [\tau_{сж}]^{-0,5}}, \quad (7)$$

где в формулах (4), (5) d_0 — диаметр скважинного заряда;

$$P_0 = \frac{1}{8} \rho_{ВВ} \cdot D^2,$$

где P_0 — начальное давление взрыва;
 $\rho_{ВВ}$ — плотность взрывчатого вещества;
 $[\tau_{сж}]$ — предел прочности пород на сжатие.

В крепких горных породах разрушения за зоной пластических деформаций происходят путем отрыва, поэтому за критерий прочности принят критерий максимальных напряжений (растягивающих).

Ограничиваясь на верхней границе зоны радиальных трещин асимптотическим членом упругого решения для смещения частиц массива при взрыве, получим с учетом положений работ [4, 5] следующее выражение для определения радиуса зоны трещинообразования (радиальных трещин), вызванных воздействием взрывных нагрузок

$$r_{mp} = d_0 \sqrt{\frac{P}{[\tau_{сж}]} \left(\frac{\tau_{сж}}{2\tau_p} \right)^{\frac{3}{2}}}, \quad (8)$$

или

$$r = 2 \sqrt{P_0 \cdot \tau_{сж} \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{сж}}{2\tau_p} \right)^{\frac{3}{2}}}, \quad (9)$$

где τ_p — предел прочности пород на растяжение.

По формулам (4) и (5) выполнены расчеты параметров зон разрушения горных пород (известняков) с различными прочностными свойствами при взрыве зарядов ВВ — гранулита С6М и простейшего состава ПВС, изготавливаемых на местах ведения буровзрывных работ. Вычисленные значения приведенных радиусов зон пластических деформаций и трещинообразования приведены в табл. 2.

Результаты расчетов по размерам зон переизмельчения и трещинообразования согласуются с имеющимися данными [6] и опытом ведения буровзрывных работ в условиях золоторудных карьеров Кокпатас (Республика Узбекистан).

Полученные данные расчетов зон разрушения взрывом горных пород могут послужить основой создания автоматизированной программы ЭВМ для разработки паспортов ведения буровзрывных работ в конкретных горно-геологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабораторные и практические работы по разрушению горных пород взрывом / Под общей редакцией Б.Н. Кутузова — М.: Недра, 1981. — 136 с.
2. Шемякин Е.И. О волнах напряжений в прочных горных породах // ПМТФ. -1963. -№ 5.
3. Renharty I. Some Quantitate data Bearing of the Seabbing of Metal Under Explosive attack // V. Apple. - 1951. -Vol. 225.
4. Sassa K., Ito I. On the relation between the strength a rock and pattern of bbeakage by blasting. En. Adv. // Rock Mech. —Washington. -1973. -2, part. B. —P. 1501-1505.
5. Седов Е.А. Нестационарные процессы при взрыве сферического заряда в крепких горных породах // Сб. науч. тр. -Кривой Рог, 1971. -№ 16.
6. Седов Е.А., Мец Ю.С., Лесков В.Г. Размеры зон разрушения и параметры буровзрывных работ // Горнорудное производство (подземная добыча руды). — Кривой Рог, 1972.