Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LII, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.235.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ПОДВОДНОГО ВЗРЫВА

Г. М. Головин, Н. А. Смирнов

Теоретическими характеристиками работоспособности ВВ служат: удельная энергия F и удельная потенциальная энергия Q'_V

$$F = \frac{p_0 V_0 T}{273}, \tag{1}$$

где p_0 — атмосферное давление, равное 10 330 *кГ/м²*;
V_0 — объем газов взрыва 1 *кг* ВВ при нормальных условиях, *м³/кг*;
T — температура взрыва, °К;

$$Q'_V = \frac{Q + 572 \sum n}{M}, \tag{2}$$

где Q — теплота взрыва 1 *кмоль* ВВ, *ккал*;
$\sum n$ — суммарное количество киломолей газов взрыва;
M — число молей в 1 *кг* ВВ.

Как известно [Томас и др., 1962], работоспособность ВВ практически оценивают с помощью баллистического маятника и бомбы Трауцля. Бризантность ВВ оценивают величиной кинетической энергии продуктов детонации:
по Бихелю

$$B = \frac{mD^2}{2}, \tag{3}$$

по Касту

$$B = F\varrho D, \tag{4}$$

где m — масса заряда, *кг*;
D — скорость детонации, *м/сек*;
ϱ — плотность ВВ, *кг/м³*.

К. П. Станюкович и Я. Б. Зельдович предложили характеризовать бризантность ВВ величиной импульса, действующего при взрыве на единицу поверхности преграды, с которой заряд соприкасается,

$$I = \frac{8}{27} mDk, \tag{5}$$

где k — коэффициент, учитывающий боковой разлет продуктов детонации; для зарядов цилиндрической формы при равенстве длины заряда его диаметру $k = 0{,}16$.

Практически величину импульса взрыва определяют по величине отклонения специального баллистического маятника. Наиболее распространенными способами определения бризантности ВВ являются способы Гесса и Каста.

Для измерения скорости детонации применяют приборы — измерители времени — фоторегистры, катодные и магнитные осциллографы. Часто скорость детонации определяют способом Дотриша — Сухаревского. Все эти методы имеют существенные недостатки [Коул, 1950; Баум, Станюкович, Шехтер, 1959; Андреев, Беляев, 1960].

Взрывчатые вещества для отбойки горных пород выбирают по данным опытных взрывов в сходных условиях. Не исключено, однако, применение в однотипных породах различных по своим свойствам взрывчатых веществ. Характеристики ВВ, рассчитанные по законам термохимии и гидродинамики или полученные лабораторными испытаниями, можно использовать при выборе ВВ с обязательным учетом фактического конечного результата дробления породы, который зависит и от свойства применяемых ВВ и от механической прочности породы. В ранних работах Р. Гесса и Г. Каста и других исследованиях [Андреев, Беляев, 1960] выбор характеристик сводился лишь к установлению «дробящего действия самого ВВ» или к определению степени его бризантности. В трудах по теории взрывчатых веществ одним из главных физических факторов считают скорость детонации ВВ, а основным лабораторным способом оценки дробящего действия ВВ — пробу Гесса. Такая односторонняя характеристика не дает правильного представления о реальном ходе процесса дробления.

Опыты Л. И. Барона, Б. Д. Росси и С. П. Левчика [1960] показали, что никакой связи между объемом воронки взрыва и показателем бризантности по Гессу вообще нет. Бризантность по Гессу, которую в настоящее время принято считать главным критерием дробящей способности ВВ для горных работ, не позволяет правильно оценить дробящую эффективность различных ВВ в условиях отбойки горных пород и в этом смысле не отвечает своему назначению.

Некоторые исследователи считают, что для оценки дробления в производственных условиях достаточно лабораторных взрывов стандартных зарядов в определенных сравнимых условиях, как это делается, например, при пробе Гесса. Полученную количественную характеристику взрывчатого вещества вследствие отсутствия подобия с натурой нельзя использовать для оценки результатов в производственных условиях. Их различие обусловлено размерами зарядов и условиями дробления породы.

Получившая большое развитие в последние годы волновая теория разрушения горных пород вызывает к жизни новые методы оценки свойств взрывчатых веществ. Эти методы должны дать возможность увязать поле напряжений, возникающее при взрывании в данной горной породе, с мощностными характеристиками взрывчатого вещества.

При определении характеристик взрывчатых веществ испытания желательно проводить в тех породах, в которых они будут применяться. Как показали исследования американских ученых [Томас и др., 1962; Седвин, Кулей, Портер, 1962], параметры волны деформаций, возникающих в породе при взрыве, являются мерой эффективности взрывчатых веществ при отбойке. Однако многообразие пород с сильно отличающимися физико-механическими свойствами осложняет эти испытания. Коэффициент вариации для пород одного месторождения достигает в ряде случаев 30%.

Испытания для сравнительной оценки эффективности различных взрывчатых веществ можно проводить методом подводного взрыва, измеряя давления, возникающие в воде при детонации небольших зарядов. Этот метод испытания проще и дешевле, чем измерение деформаций в породе.

Взрыв заряда ВВ в воде создает условия более близкие к условиям взрыва в породе, чем многие другие методы испытаний. Свойства воды одинаковы на значительных расстояниях во всех направлениях от заряда. Проявление взаимодействия взрыва и среды при подводных испытаниях более типичны, чем при взрывах в воздухе, с одной стороны, и в свинцовой бомбе Трауцля, с другой.

Кафедрой буровзрывных работ Ленинградского горного института проведены сравнительные испытания некоторых взрывчатых веществ, предназначенных для открытых горных работ, методом подводного взрыва. Испытывались заряды аммонита 6 ЖВ, аммонита 6, аммонита В-3, акватола, зерногранулита 80/20 и прессованного тротила весом по 1 *кг* в одном из водоемов Карельского перешейка. Глубина водоема в эпицентре взрыва была равна 3,7 *м*. Это позволило избежать интерференции отраженных от поверхности и дна волн с измеряемой волной давления. Заряды ВВ помещали в водонепроницаемую оболочку из полиэтилена и опускали

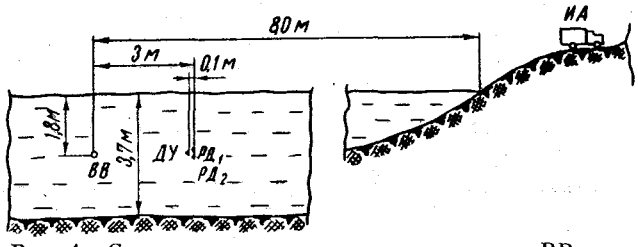


Рис. 1. Схема установки датчиков и заряда ВВ при взрывании под водой:
ДУ — датчик упредитель; *РД* — рабочий датчик; *ИА* — место установки измерительной аппаратуры.

с помощью груза на глубину 1,8 *м* (рис. 1). Заряды инициировали электродетонатором мгновенного действия, а акватол и зерногранулит — зарядом аммонита 6 ЖВ весом 200 *г*.

Для замера давлений, возникающих при взрыве заряда в воде, использовали турмалиновые пьезодатчики с антивибрационным кабелем марки АВК. Технические данные этих датчиков: срез пластины *Z*; размер пластины 1,5 × 1,5 × 0,3 *мм*; чувствительность 0,993 в $\frac{пф}{кГ/см^2}$; механическая прочность 500 $кГ/см^2$; вес 4 *г*. Датчик устанавливали от заряда на расстоянии 45—55 радиусов заряда.

$$R_0 = \sqrt[3]{\frac{3G}{4\pi\gamma}}, \qquad (6)$$

где G и γ — соответственно вес и удельный вес заряда, *г* и $г/см^3$.

Изменение давления во времени, воспринимаемое пьезоэлектрическими датчиками давления, регистрировали электронной аппаратурой. Блок-схема аппаратуры показана на рис. 2.

Отсутствие блока задержки при использовании осциллографов ОК-24 и ОК-17М с разрешающей способностью соответственно до 1 *сек* и 1 *мсек* не позволило записать процесс пульсации газового пузыря. Энергия газового пузыря аналогична энергии, производящей смещение породы при взрывных работах, и составляет значительную часть энергии, содержащейся в ВВ.

Как показало изучение осциллограмм (рис. 3), импульс давления, развивающегося в воде при взрыве заряда, имеет острый пик. Это указывает на незначительное поглощение высоких частот водой.

По осциллограммам давления определены следующие импульсные характеристики, относящиеся к взрывным характеристикам ВВ:

1) максимальное давление (скорость детонации)

$$p_{max} = \frac{u_к C_м}{r_д} \cdot \frac{A_с}{A}, \tag{7}$$

где $C_м$ — масштабная емкость, *пф*;
$u_к$ — калибровочное напряжение, *в*;
$r_д$ — чувствительность датчика, $\frac{пф}{кГ/см^2}$;
$A_к$ — амплитуда калибровочного импульса, *мм*;
$A_с$ — амплитуда сигнала, *мм*;

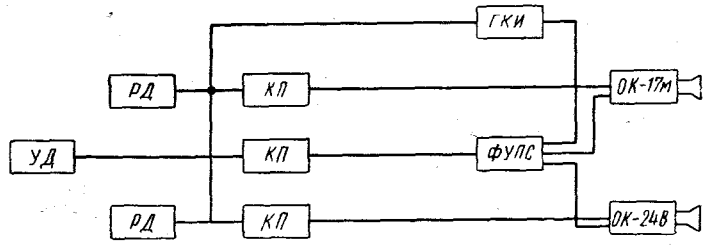


Рис. 2. Блок-схема измерительной аппаратуры:
ДУ — датчик упредитель; *РД* — рабочий датчик; *КП* — катодный повторитель; *ГКИ* — генератор калибровочного импульса; *ФУПС* — формирующее устройство пусковых сигналов; *ОК-17М*, *ОК-24В* — катодные двухлучевые осциллографы.

2) площадь, ограниченная кривой зависимости давления от времени и пропорциональная удельному импульсу (бризантность)

$$I = \int_0^t p(t)\, dt; \tag{8}$$

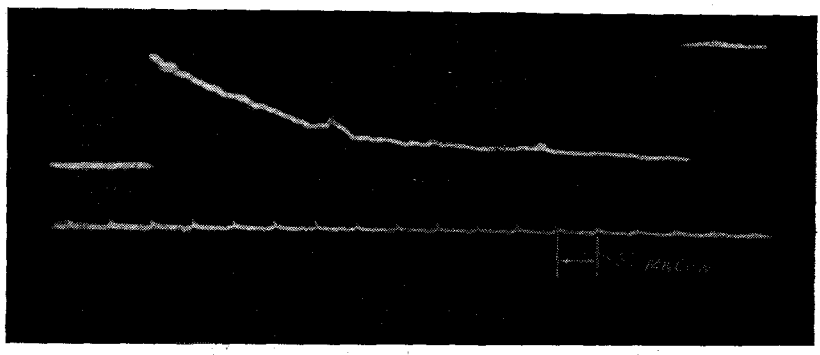


Рис. 3. Типичная осциллограмма аммонита 6 ЖВ.

3) площадь, ограниченная кривой зависимости квадрата давления от времени и пропорциональная удельной энергии (работоспособность)

$$E = \frac{g}{\rho' c} \int_0^t p^2(t)\, dt, \tag{9}$$

где t — время, *сек*;
ρ' — плотность среды, *кг/см*^{3};
c — скорость звука в воде, *см/сек*;
g — ускорение силы тяжести, *см/сек*^{2}.

Общая энергия ударной волны непосредственно связана с энергией, которая вызывает разрушение среды, воспринимающей сильные ударные волны

$$E_{\text{общ}} = 4\pi R^2 E, \qquad (10)$$

где R — расстояние от места установки рабочих датчиков до взрыва.

Как видно из приведенных в таблице характеристик ВВ, полученные соотношения отличаются по бризантности и работоспособности от лабораторных данных для испытанных типов ВВ.

Новый метод определения характеристик ВВ позволит увязать полученные мощности характеристики взрывчатых веществ с полем напряжений, которое возникает в горной породе при взрыве и, следовательно, обеспечит более обоснованный выбор типа взрывчатого вещества при дроблении различных горных пород.

Расчетные и замеренные характеристики ВВ (приведенные к относительному расстоянию)

ВВ	Скорость детонации, *км/сек*	Бризантность (проба Гесса), *мм*	Работоспособность по способу Трауцля, *см³*	Среднее приведенное максимальное давление, 10^3 *кГ/м²*	Средний приведенный импульс, *кГ·сек/м²*	Средняя энергия ударной волны, 10^3 *кГ·м*
Аммонит 6 ЖВ . . .	3,6	14—15	360	67 600	9400	124
Аммонит 6	3,6	14—15	360	64 200	9050	125
Аммонит В-3	3,6	14	360	61 000	8600	92
Акватол	5,8—6,2	27—29 *	350—360	50 000	5630	53
Зерногранулит 80/20:						
сухой	3,5—4,0	20—28 *	350—370	49 500	5470	60
влажный	—	—	—	37 000	2800	27
Тротил прессованный	5,7—6,0	22—24	270—300	74 400	8650	114

* Обжатие свинцового столбика при взрывании в стальном кольце от промежуточного детонатора.

ЛИТЕРАТУРА

Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. Оборонгиз, 1960.

Барон Л. И., Росси Б. Д., Левчик С. П. Дробящая способность ВВ для горных работ. Госгортехиздат, 1960.

Баум Ф. А., Станюкович К. П., Шехтер Б. И. Физика взрыва. Физматгиз, 1959.

Коул Р. Подводные взрывы. ИЛ, 1950.

Седвин Л. Д., Кулей С. М., Портер С. И. Оценка взрывчатых свойств ВВ методом подводного взрыва. В сб. Разрушение и механика горных пород. Госгортехиздат, 1962.

Томас С. и др. Сравнение двух методов оценки свойств ВВ. В сб. Разрушение и механика горных пород. Госгортехиздат, 1962.