

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ПОЛНОТЫ ВЗРЫВЧАТОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ

В. А. Соснин, С. П. Смирнов, Р. Х. Сахипов

ГосНИИ «Кристалл», 606007 Дзержинск Нижегородской

Приведены результаты определения тротилового эквивалента двух эмульсионных промышленных взрывчатых веществ типа обратных эмульсий (порэммит 1 и порэммит М) посредством измерения основных параметров воздушной ударной волны — максимального избыточного давления и удельного импульса фазы сжатия на расстояниях 2, 3, 5, 7 и 9 м от центра цилиндрического заряда взрывчатого вещества массой 10 кг. Дополнительно определена длительность фазы сжатия воздушной ударной волны. Установлено, что тротильный эквивалент, определенный по данным измерения максимального давления для обоих порэммитов при плотности заряда $1,25 \div 1,37 \text{ г/см}^3$, примерно одинаков ($\approx 0,9$), а определенный по величине удельного импульса — существенно различается: 0,7 и 1,1, соответственно. Этот результат объясняется выделением энергии за счет относительно медленной реакции частиц алюминия с кислородом воздуха за фронтом волны.

Определение работоспособности промышленных взрывчатых веществ (ВВ) является необходимым условием оценки эффекта взрыва. Это особенно важно для нового класса промышленных ВВ — эмульсионных, так как их работоспособность зависит от многих факторов, особенно от плотности заряда. Эмульсионные ВВ — простейшие аммиачноселитренные промышленные ВВ типа аммиачная селитра — горючее, без взрывчатого сенсibilизатора в составе. Для их получения аммиачная селитра переводится в насыщенный раствор, который является дисперсной фазой эмульсии, внешнюю фазу представляют жидкие нефтепродукты. При этом образуется матричная эмульсия с максимальной плотностью заряда до 1420 кг/см^3 на эвтектике аммиачной и натриевой селитры и до 1350 кг/см^3 — на основе аммиачной селитры. На практике для возбуждения детонации эмульсионных ВВ необходима дополнительная сенсibilизация заряда, которая осуществляется за счет газовых включений и создания пористой структуры заряда. Матричная эмульсия без газификации не дает требуемого эффекта при взрыве, так как в этом случае ее детонация происходит в низкоскоростном или затухающем режиме. По классификации ООН матричная эмульсия не отнесена к ВВ, но ее взрывы, имевшие место при производстве, потребовали разработки специальных мер защиты и расчета последствий возможных аварий. Кроме того, необходимо опре-

делить оптимальную плотность заряда эмульсионного ВВ для получения максимального эффекта взрыва.

Детонационная способность эмульсионных ВВ зависит от химической активности и содержания компонентов, их дисперсности, плотности заряда и ряда других факторов. Эти параметры определяют ширину зоны химической реакции, критический диаметр и условия инициирования и затухания детонации. При небольшой газонасыщенности эмульсионных ВВ (матричная эмульсия) для возбуждения высокоскоростной детонации требуется мощный детонатор и заряд большого диаметра. Так, согласно данным Центра по изучению технологии ВВ США негазифицированная матричная эмульсия на основе одной аммиачной селитры с плотностью $\rho = 1353 \text{ кг/м}^3$ имеет критический диаметр детонации более 378 мм [1]. Из наших исследований эмульсионного ВВ порэммита 1 (на основе смеси аммиачной и натриевой селитры) можно заключить, что стационарная детонация наблюдается при $\rho = 1350 \text{ кг/м}^3$.

Для определения полноты взрывчатого превращения порэммита различной плотности в данной работе использован метод определения параметров воздушной ударной волны (УВ) при взрыве. За количественную оценку полноты взрыва принят тротильный эквивалент. Последний находили по формуле Садовского (см. [2]) как отношение массы заряда к рассчитываемой эквивалентной массе тротила по

Таблица 1
 Параметры исследуемых зарядов

Образец	ρ , кг/м ³	l , мм
Шашка ТГП-500	1580	86
Порэмит 1:		
без газификации	1410	279
1 % NaNO ₂	1400	280
1320	299	
1320	298	
2 % NaNO ₂	1250	315
1240	315	
Порэмит М (8 % алюминия):		
без газификации	1430	276
1420	277	
1 % NaNO ₂	1370	287
1370	287	
1,5 % NaNO ₂	1340	293
1340	293	

Примечание. l — длина (высота) заряда.

избыточному давлению во фронте воздушной УВ или по импульсу фазы сжатия в нескольких фиксированных точках.

Для испытаний применяли рецептуры порэмитов 1 и М согласно ТУ 84-1202-89. Массовый состав порэмита 1: аммиачная селитра — 67 %, натриевая селитра — 14 %, вода — 12 %, масло — 5 %, эмульгатор ПТ — 2 %. Плотность матричной эмульсии 1400 ÷ 1410 кг/м³. Порэмит М получали, добавляя 8 % порошкообразного алюминия в матричную эмульсию порэмита 1. Заряды порэмита готовили в полиэтиленовой оболочке цилиндрической формы диаметром 180 мм, длиной 280 ÷ 320 мм, массой 10 кг. Пористость зарядов изменяли введением газообразователя — раствора нитрата натрия. В качестве промежуточного детонатора во всех случаях использовали шашку ТГП-500 массой 0,5 кг (диаметр 70 мм), изготавливаемую методом свободного литья из состава тротил/гексоген (40/60). Характеристики образцов представлены в табл. 1.

Исследуемый заряд устанавливали на подставку высотой 0,5 м от поверхности земли. На расстоянии 2 и 3, 5, 7, 9 м от центра заряда монтировали соответственно датчик давления типа ПД500 КЗ и датчики типа ЛХ-610. Запись сигналов осуществлялась многоканальным регистратором. Тротилловый эквивалент определяли по следующим параметрам воздушной УВ: избыточное давление в фиксиро-

ванных точках во фронте воздушной УВ (p); удельный импульс фазы сжатия (I_+); длительность фазы сжатия (τ_+). Параметры воздушной УВ рассчитывали с помощью датчиков давления (методика I) и по скорости распространения воздушной УВ или по времени ее прихода в точку, где находится датчик (методика II).

Экспериментальные результаты исследований приведены в табл. 2. Данные по зависимости избыточного давления и импульса фазы сжатия от расстояния до датчиков показывают, что матричные негазифицированные эмульсии характеризуются параметрами фазы сжатия взрывной волны, значительно уступающими параметрам тротила. Пористые эмульсии порэмита по работоспособности находятся на уровне тротила или даже превосходят его за счет более высоких значений p_{\max} и I на больших расстояниях от заряда. Результаты расчета тротилловых эквивалентов порэмитов 1 и М приведены в табл. 3. При сравнении тротилловых эквивалентов обычного и металлизированного порэмитов, измеренных по максимальному избыточному давлению (Q_p), видно, что значения, полученные прямым измерением давления и определением его по скорости распространения волны, близки между собой. Можно предположить, что алюминий не оказывает значительного влияния на скорость взрывного процесса в эмульсии порэмита. Сравнивая тротилловые эквиваленты по удельному импульсу фазы сжатия, заключаем, что введение алюминия увеличивает тротилловый эквивалент состава от 0,76 для порэмита 1 до 1,19 для порэмита М (на 57 %). «Интегральный» тротилловый эквивалент увеличивается от 0,79 до 1,13 (на 43 %). Таким образом, при реакции взрывчатого превращения эмульсионных ВВ алюминий увеличивает не только теплоту взрыва, но и длительность фазы сжатия. Для сравнения следует указать, что экспериментальные исследования теплоты взрывчатого превращения порэмитов 1 и М по методике ГосНИИ «Кристалл» на калориметрической установке дали значение 740 ккал/кг (тротилловый эквивалент 74 %) и 1100 ккал/кг (110 %) соответственно. Расчетный (по теплоте взрыва) тротилловый эквивалент порэмита 1 составляет 0,7, а порэмита М — 1,04. Последнее значение существенно меньше тротилового эквивалента, определенного по измеренному импульсу фазы сжатия Q_I . Очевидно, значительный вклад в величину Q_I вносят реакции частиц алюминия с кислородом воздуха.

Таблица 2
Экспериментальные значения параметров
воздушной ударной волны

R, м	Методика расчета				
	I			II	
	p_{\max} , бар	I_+ , Па·с	τ_+ , мс	p_{\max} , бар	I_+ , Па·с
Порэммит 1, $\rho = 1410$ и 1400 кг/м ³ (без газификации)					
2	18,04	335	0,95	14,45	243
3	3,26	330	2,25	4,23	303
5	1,51	198	3,55	1,31	172
7	0,91	162	4,70	0,83	149
9	0,46	97	5,25	0,65	137
Порэммит 1, $\rho = 1320$ кг/м ³					
2	10,95	368	1,00	16,23	542
3	6,33	421	2,40	7,55	504
5	2,64	259	4,05	2,46	241
7	1,2	198	4,95	1,04	172
9	0,56	122	5,70	0,58	103
Порэммит 1, $\rho = 1240$ и 1250 кг/м ³					
2	25,15	455	0,90	20,19	364
3	6,21	396	2,45	6,85	441
5	2,45	270	3,70	2,08	228
7	1,22	187	4,75	1,07	164
9	0,61	115	5,60	0,70	133
Порэммит М, $\rho = 1420$ и 1430 кг/м ³ (без газификации)					
2	5,94	381	1,00	8,16	356
3	2,5	227	2,55	3,27	298
5	1,34	208	4,20	1,32	208
7	0,82	161	4,80	0,84	164
9	0,49	108	5,35	0,62	134
Порэммит М, $\rho = 1370$ кг/м ³					
2	18,73	686	1,00	23,24	988
3	6,33	420	2,80	8,63	557
5	1,91	262	3,75	2,40	345
7	1,09	193	4,65	0,98	173
9	0,57	138	5,50	0,56	144
Порэммит М, $\rho = 1340$ кг/м ³					
2	25,21	741	1,10	18,61	809
3	6,27	473	3,25	6,81	518
5	2,36	265	3,60	2,22	243
7	1,28	190	4,60	1,06	157
9	0,61	119	5,55	0,65	131

Примечание. R — расстояние до датчика.

Тропиловые эквиваленты негазифицированных эмульсий порэммитов 1 и М равны соответственно 0,47 и 0,54. Полученные значения сопоставимы с расчетным тротиловым эквивалентом взрывчатого превращения чистой аммиачной селитры без добавок, который по данным [3] составляет 0,39 (теплота взрыва аммиачной селитры 387 ккал/кг). Согласно данным [4] взрывной эффект аммиачной селитры составляет 50 % (тротиловый эквивалент 0,5) взрывного эффекта бризантного ВВ, что фактически находится на уровне негазифицированного порэммита.

В заключение необходимо указать, что при использовании промышленных ВВ заряд формируется в скважине в соответствии с его насыпной плотностью заряжения, поэтому необходимо оперировать значением не массовой, а объемной концентрации энергии. Для порэммита 1 при рабочей плотности $1250 \div 1300$ кг/м³ объемный тротиловый эквивалент составляет $0,99 \div 1,03$ и находится на уровне гранулола при одинаковых объемах заряжения или высотах зарядов в скважинах. Для металлизированного порэммита М объемный тротиловый эквивалент при рабочей плотности $1300 \div 1350$ кг/м³ составляет $1,4 \div 1,55$ и близок к соответствующему значению для алюмотола. Одновременно с этим необходимо еще раз подчеркнуть, что в порэммитах при их изготовлении (матричная эмульсия) взрывной процесс протекает, по-видимому, в низкоскоростном

Таблица 3
Расчетные тротиловые эквиваленты

ρ , г/см ³	Методика I		Методика II		$\langle Q \rangle$
	Q_p	Q_I	Q_p	Q_I	
Шашка ТГП-500					
1,58	0,1056	0,1063	0,0790	0,0736	0,0911
Порэммит 1					
1,405	0,6031	0,4903	0,5758	0,4501	0,5243
1,32	0,8559	0,7988	0,8174	0,6989	0,928
1,245	0,9533	0,7565	0,8873	0,6294	0,8066
Порэммит М					
1,425	0,5937	0,4926	0,4689	0,5884	0,5447
1,37	0,8543	0,786	0,8902	1,1073	0,9382
1,34	1,0051	1,3516	0,8631	1,0542	1,1282

Примечание. $\langle Q \rangle$ — «интегральный» тротиловый эквивалент по всем усредненным параметрам.

или затухающем режиме. Поэтому в аварийных случаях при производстве эмульсионных ВВ могут иметь место затухающий взрывной процесс и разброс непрореагировавшей массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee I., Sandstrom F. W., Graig B. G., Persson P. A. Detonation and shock initiation properties of emulsion explosives // 9th Symp. on Detonation. Portland, Oregon, USA, 1985.
2. **Промышленные взрывчатые вещества** / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревич и др. М.: Недра, 1973.
3. **Технология аммиачной селитры** / Под ред. В. М. Олевского. М.: Химия, 1978.
4. **Руководство по производству, транспортировке, хранению и использованию взрывчатых материалов** / Национальная ассоциация по борьбе с пожарами. Национальный институт стандартов США, 1982.

*Поступила в редакцию 5/I 1996 г.,
в окончательном варианте — 20/IV 1998 г.*
