

С.И.ДОРОШЕНКО

Инженерная служба военно-воздушной
и противовоздушной обороны Министерства обороны РФ,
Санкт-Петербург, Россия

МОДЕЛЬ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЗРЫВЕ ПВМ НА ГЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

На основе экспериментальных данных предложена модель энерговыделения при взрыве промышленных взрывчатых материалов (ПВМ) на гелевой основе. Модель описывает главную особенность гелевых ВВ – изменяющийся тротиловый эквивалент.

Based on experimental data, one has suggested the model of energy release in blasting of industrial explosive materials on gel base. The model describes the specific feature of the gel explosives, i.e. the changeable trotyl equivalent.

1. Характеристика ПВМ на гелевой основе. Гельпоры – это водосодержащие ВВ, представляющие собой композицию зерненных или трубчатых артиллерийских пироксилиновых порохов и гелеобразного раствора окислителей. В качестве активного компонента в таких ВВ наряду с порохами могут выступать шашки баллистного твердого ракетного топлива или шашки гексогенсодержащих составов марок А-1Х-2, А-1Х-20.

К взрывчатым веществам, используемым в горной промышленности, предъявляются следующие взаимоисключающие требования [3, 8]:

- безопасность в обращении и высокая чувствительность;
- высокая работоспособность и небольшие безопасные расстояния по сейсмовзрывным и воздушно-ударным волнам (СВВ и ВУВ);
- малый объем, высокая энергия и технологичность.

Стремление разработчиков изготовить ВВ с параметрами, оптимально удовлетворяющими этим условиям, привели к созданию новых промышленных взрывчатых материалов на основе гельпора – водосодержащего порошкового взрывчатого вещества, представляющего собой композицию из зерен пироксилинового пороха, гелеобразного раствора окислителей и гранулированной аммиачной селитры. Гельпор предназначен

для производства взрывных работ на дневной поверхности и в забоях подземных выработок, не опасных по газу и пыли.

В 2002-2003 годах проведены предварительные промышленные испытания гельпора на полигонах МО РФ в Ленинградской области.

2. Результаты измерений параметров контактного взрыва в воздухе. В статье приведены некоторые результаты этих испытаний, в частности, сравнительных натурных испытаний промышленных ВВ – гельпора ГП-2, граммонита 79/21 и аммонита № 6ЖВ – 200. Сравнение проводилось по параметрам воздушной ударной волны, генерированной взрывом одинаковых по массе сосредоточенных зарядов гельпора, граммонита и аммонита, и местному действию на грунт.

Во время эксперимента измерялись следующие параметры:

- избыточное давление во фронте ВУВ (ΔP_{ϕ});
- длительность фазы сжатия ВУВ (τ_+);
- время прихода фронта ВУВ в точку измерения ($t_{\text{пр}}$);
- радиус ($r_{\text{в}}$), и глубина ($h_{\text{в}}$) воронки выброса.

На рис.1 представлены годографы ударных волн от взрывов зарядов гельпора и граммонита. Анализ годографов позволяет выявить две характерные особенности гельпора.

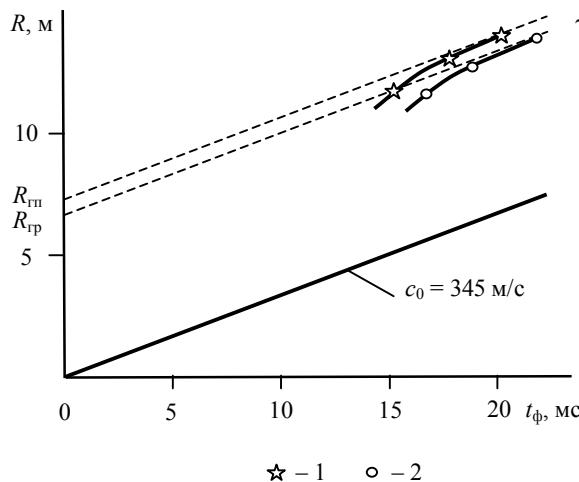


Рис.1. Годограф ударных волн
1 – гельпор; 2 – граммонит

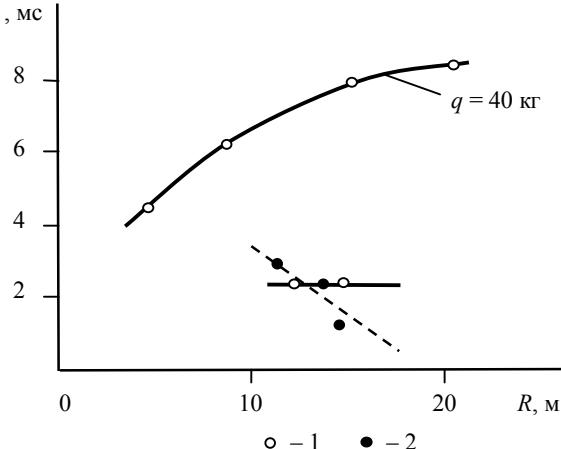


Рис.2. Зависимость длительности фазы сжатия
от расстояния
1 – граммонит; 2 – гельпор

Первой особенностью является то, что время прихода в точки измерения ударной волны от гельпора значительно меньше, чем от граммонита, и это при том, что энергия взрывчатого превращения гельпора на 10-15 % ниже энергии взрывчатого превращения граммонита. Прямолинейная экстраполяция асимптоты гельпора на ординату нуля взрыва отсекает условный начальный радиус примерно на 10 % больше, чем у граммонита, а по объему условной полусфера, характеризующей работоспособность ВВ на начальном этапе, эта разница составляет примерно 30 %.

Вторая особенность связана с более ранним выходом годографа гельпора по сравнению с годографом граммонита на асимптоту звуковой скорости.

Эти особенности свидетельствуют о более высокой (по сравнению с традиционными ВВ) условной работоспособности гельпора в ближней зоне взрыва и более низкой в дальней (рис.2). На этом же рисунке представлены кривые теоретических расчетов для взрывов тротила массой 40 кг.

Примечательно, что длительность фазы сжатия при взрыве гельпора с увеличением расстояния уменьшается вопреки классической теории взрыва [7].

Оценка местного действия взрыва проводилась по параметрам воронок, образовавшихся в грунте.

Таблица 1

Параметры воронок взрыва

Тип ВВ	Масса заряда, кг	Вид грунта	Параметры воронок		
			$r_{\text{в}}$, м	$h_{\text{в}}$, м	$V_{\text{в}}$, м ³
Гельпор ГП-2У	40	Гранит	1,0	0,35	0,55
Граммонит 79/21	40	»	0,9	0,25	0,31
Гельпор ГП-2ДП	2	Глина	0,56	0,22*	0,10
Гельпор ГП-2ДП	2	»	0,56	0,30	0,14
Аммонит 6ЖВ	2	»	0,37	0,32	0,068

* В месте взрыва заряда под слоем глины на глубине 0,15 м оказалась скала.

Анализ данных табл.1 свидетельствует о повышенном местном действии на грунт взрыва заряда гельпора по сравнению со взрывом зарядов граммонита и аммонита. Так, объем воронок в грунте от взрывов зарядов гельпора, в 1,5-2 раза больше объема воронок от взрывов зарядов граммонита и аммонита.

3. Результаты измерений параметров гидроударной волны. При взрывах в воде использовались заряды гельпора (ГП), тротила (ТНТ) и ПДГВ (30 % гексогена марки А – IX – 2 и 70 % гельпора) массой 0,8-1,1 кг.

Взрывную нагрузку при взрыве в воде принято характеризовать давлением на фронте ΔP_ϕ и длительностью положительной фазы τ_0^+ . Для той части пространства,

где не оказывается влияние дна водоема и свободной поверхности, изменение давления во времени t в фиксированной точке пространства имеет вид [4, 5]

$$P(t) = \Delta P_0 \exp(-t/\theta).$$

4. Параметры местного действия.

Оценка местного действия взрыва проводилась по параметрам воронок, образовавшихся в сплошном гранитном массиве, находящемся под водой на глубине ~ 50 см. В качестве параметров выступали радиус воронки (r_v), ее глубина (h_v) и объем (V_v).

Таблица 2

Параметры воронок взрыва

Номер опыта	Тип ВВ	Масса заряда, кг	Вид грунта	Параметры воронок		
				r_v , м	h_v , м	V_v , м ³
1	ГП-2ДП	4	гранит	0,45	0,12	0,033
2	ПДГВ	4	»	0,35	0,10	0,020

Из табл.2 видно, что параметры воронки от заряда ГП-2ДП в 1,6 раза превышают аналогичные параметры воронки от заряда ПДГВ. Однако это утверждение нуждается в дополнительной проверке. Так как опыты проводились при сильном волнении и на небольшой глубине, то вполне вероятно, что заряд ПДГВ в момент взрыва мог быть поднят над поверхностью дна прибойной волной. Параметры воронки взрыва гельпора под водой несколько превышают ($\sim 20\%$) расчетные параметры для контактного взрыва тротила в воздухе [1]. Позднее в том же месте был взорван заряд пластины ПВВ-4 массой 4 кг. Параметры воронки от взрыва ПВВ-4 визуально не превышают линейные размеры воронки от взрыва гельпора.

5. Модель энерговыделения. Гипотетический характер изменения давления при взрыве традиционных ВВ и гельпора основан на совместном анализе результатов измерений параметров местного действия, гидроударной волны, воздушной ударной волны и результатов разделки негабарита [6].

По сравнению с традиционными ВВ при взрыве гельпора изменение давления носит немонотонный характер и позволяет

условно выделить зоны усиления, ослабления и физического изменения параметров детонационных и ударных волн.

В зоне усиления наблюдается повышенное бризантное и фугасное действие взрыва. По увеличенной глубине воронки и уменьшенному до 2 раз расходу ВВ при разделке негабарита [1, 4] можно предположить, что усиление параметров наблюдается уже в зоне заряда. В частности, максимальное давление P_{\max} в детонационной волне может быть в 1,5-2 раза выше рассчитанного по формуле [3]

$$P_{\max} = \rho D^2 / 4,$$

где D – скорость детонации.

В работе [2] показано, что работоспособность традиционных ВВ по методу Трауцля можно рассчитать, зная паспортные данные по теплоте взрыва $Q_{\text{ВВ}}$ и объему образовавшихся газов V_0 . Если бы этот вывод был применим для гельпора, то параметры воронок от его взрывов были бы меньше, чем при взрывах традиционных ВВ, с которыми проводилось сравнение. В действительности же в этой зоне наблюдается увеличение тротилового эквивалента по сравнению с паспортными данными до 1,5-2 раз. По радиусам воронок и интерполяции длительности фазы сжатия можно предположить, что фаза усиления наблюдается до расстояний $R = R_0 = 0,4-1,0$ м/кг^{1/3}.

В зоне ослабления отмечается резкое уменьшение максимального давления и длительности фазы сжатия. Эта зона простирается до расстояний $R = R_0 = 5-10$ м/кг^{1/3}. Импульс давления на пределе этой зоны может быть меньше расчетного в несколько раз.

В зонах усиления и ослабления наблюдавшиеся эффекты обусловлены сложными химическими (экзо- и эндотермическими) процессами, существенно отличающимися от тех, что происходят при детонации традиционных ВВ.

За пределами зоны ослабления, когда ударная волна «забывает» об особенностях источника взрыва, ее параметры изменяются по классическим законам. Поскольку «стартовое» значение давления уже меньше нормативного, то и на более дальних расстоя-

ниях акустические эффекты взрыва гельпора существенно меньше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В. Анализ аварийных крупномасштабных взрывов на основе сравнения с экспериментальными взрывами / В.В.Адушкин, В.В.Гарнов, Б.Д.Христофоров // Взрывное дело. М., 2001. № 93/50.

2. Афанасенков А.Н. О работоспособности ВВ. Метод Трауцля // Проблемы взрывного дела / МГГУ. М., 2002. № 1.

3. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1988.

4. Замышляев Б.В. Динамические нагрузки при подводном взрыве / Б.В.Замышляев, Ю.С.Яковлев. М.: Судостроение, 1967.

5. Коул Р. Подводные взрывы. М.: ИЛ, 1950.

6. Олейников В.А. Новые промышленные взрывчатые вещества спровоцированной объемной концентрацией энергии // Труды 5-й Междунар. науч.-техн. конференции. М., 2003.

7. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1972.

8. Справочник взрывника / Под ред. Б.Н.Кутузова. М.: Недра, 1988.