

РЕГИСТРАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ФРОНТА УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ВОЗДУХЕ

Б. Е. Гельфанд, И. М. Воскобойников, С. В. Хомик

Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН, 117977 Москва, khomik@polymer.chph.ras.ru

Описан простой способ определения траектории взрывной волны в ближней зоне взрыва зарядов конденсированных взрывчатых веществ. Способ основан на обнаруженном экспериментальном факте появления электрического потенциала на сердечнике антенны при пересечении ее фронтом взрывной или ударной волны.

Ключевые слова: ближняя зона взрыва, траектория взрывной волны, антенна.

В последнее время возобновился интерес к параметрам поля взрыва в ближней зоне взрыва зарядов конденсированных взрывчатых веществ (ВВ). Если характерный размер заряда принять за r_0 , то протяженность ближней зоны находится в пределах $0 < R_n < 20r_0$. Усилившийся интерес к зависимости скорости и интенсивности взрывной волны от расстояния в ближней зоне взрыва связан с поиском путей защиты от фугасных противопехотных мин с малым количеством ВВ (50 ÷ 250 г).

Исследование функционирования противопехотных мин, утопленных в грунт, и их поражающего действия осложнено вовлечением грунта в процесс разлета продуктов взрыва [1–3]. Кроме этого, в качестве перспективных рассматриваются взрывчатые композиции, содержащие инертные гранулированные материалы для усиления поражающего действия в ближней зоне взрыва [2, 4].

Разлет продуктов взрыва, сопровождаемый разлетом твердых фрагментов грунта и инертного наполнителя ВВ, затрудняет использование стандартных схем регистрации параметров взрывных волн с использованием датчиков давления. Воздействие на них разлетающегося материала может привести к их разрушению. Опасность механических повреждений требует введения специальных средств защиты чувствительных элементов, часто с не предсказуемыми последствиями их влияния на регистрируемые параметры. Кроме того, возникают определенные технические трудности при проведении динамической калибровки датчиков давления при амплитудах давления $\Delta p \geq 10$ МПа.

В результате существует определенный дефицит экспериментальных данных и отмечается недопустимый для проведения экспериментов

оценок разброс и несогласованность измеренных в ближней зоне взрыва параметров взрывных волн. Особенно это касается параметров взрыва заглубленных в грунт зарядов ВВ. Но именно параметры поля взрыва таких зарядов практически наиболее интересны. Только в редких случаях сложившаяся ситуация может быть разрешена путем визуализации процесса взрыва в оптическом или рентгеновском диапазоне длин волн [1–4].

В связи со сложившимся положением представляют интерес альтернативные способы фиксации траектории взрывной волны $R(t)$, здесь R — расстояние от эпицентра взрыва, t — время. Проведенный в [5] анализ разлета продуктов взрыва ВВ в воздухе показал, что возможен простой и экономичный способ определения зависимости $R(t)$, реализуемый путем установки на пути взрывного фронта, образовавшегося при взрыве заряда ВВ, системы антенн в виде ряда экранированных проводников в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. Роль экранированных проводников могут выполнять отрезки обычного коаксиального кабеля с обнаженной центральной жилой. Противоположные концы кабелей подключены к входам усилителей многоканального регистратора.

При взрыве заряда ВВ появляется взрыв-

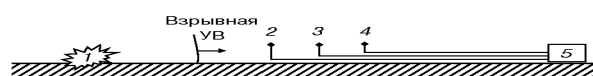


Рис. 1. Схема регистрации фронта взрывной волны антеннами:

1 — заряд ВВ, 2–4 — система антенн в виде экранированных проводников, 5 — многоканальный регистратор

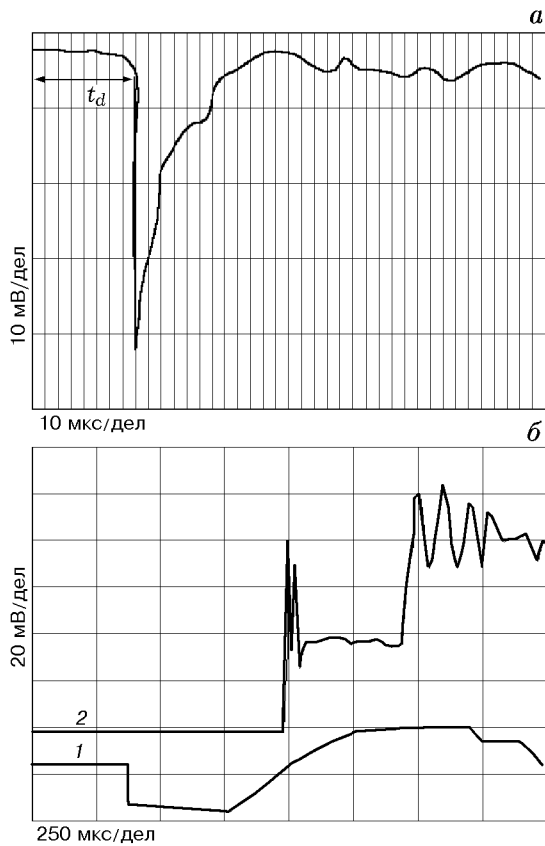


Рис. 2. Регистрация положения ударного фронта при воздушном взрыве заряда гексогена (а) и ударной волне в канале (б):

1 — антенна, 2 — датчик давления

ная ударная волна (УВ), фронт которой последовательно пересекает оголенные центральные жилы антенн. Оказалось [5], что при этом на антеннах появляется отрицательный электрический потенциал, величины которого достаточно для регистрации его стандартной аппаратурой.

Типичный сигнал, зарегистрированный при прохождении антенны взрывной УВ от цилиндрического заряда гексогена (длина заряда 70 мм, диаметр $2r_0 = 20$ мм), представлен на рис. 2, а. Начало развертки соответствует выходу детонационной волны на противоположный от инициатора торец заряда. Длительность характерного сигнала составляет в данном случае несколько десятков микросекунд. При изменении расстояния между зарядом и антенной соответственно менялось время запаздывания сигнала на антенне (t_d) относительно момента взрыва заряда. С помощью системы антенн удается получить времена при-

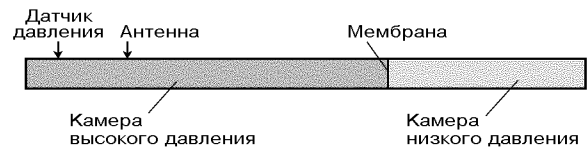


Рис. 3. Схема ударной трубы

бытия фронта взрывной УВ t_d на расстояния R_i , где i — номер антенны. На основе этих данных строится траектория взрывной УВ $R(t)$. По производной dR/dt для взрывной УВ находят поле скоростей $U(R_i)$ и поле чисел Маха $M(R_i)$. По зависимости $M(R_i)$ и стандартным соотношениям типа $\Delta p/p_0 = 2\gamma(\gamma + 1)^{-1}(M^2 - 1)$ (здесь $\Delta p = p_1 - p_0$, p_0 — начальное давление, p_1 — давление на фронте взрывной УВ, γ — отношение удельных теплоемкостей окружающей заряд газовой атмосферы) рассчитываются другие параметры взрывной УВ.

Для дополнительной проверки факта появления электрического потенциала при обтекании антенны взрывной УВ проведены опыты в ударной трубе, схема которой представлена на рис. 3. Ударная труба состояла из камер высокого и низкого давления, разделенных разрывной мембраной. Камера высокого давления длиной 1 м заполнялась гелием. Камера низкого давления длиной 2 м и диаметром 54 мм наполнялась воздухом до атмосферного давления. В экспериментах реализовывалось обтекание антенны заведомо инертной газовой средой за фронтом УВ. Ударная волна отличается от взрывной УВ наличием области постоянных во времени значений параметров за ее фронтом. После разрыва мембраны образовавшаяся в камере низкого давления ударная волна пересекала антенну в виде центральной жилы коаксиального кабеля диаметром 1 мм, размещенного в стенке трубы перпендикулярно ее оси. Далее на пути УВ на расстоянии 0,24 м от оси антенны располагался стандартный торцевой пьезоэлектрический датчик давления. Типичные осциллограммы сигналов на антенне и датчике давления представлены на рис. 2, б. Разница времен появления сигналов $\Delta t = (625 \pm 25)$ мкс, чему соответствуют скорость УВ $U = (380 \pm 15)$ м/с или число Маха $M = 1,16 \pm 0,04$ и интенсивность взрывной УВ $\Delta p/p_0 \approx 0,4$. Электрический потенциал на антенне составляет в этом случае ≈ 20 мВ.

Соответствие полученных в [5] момента

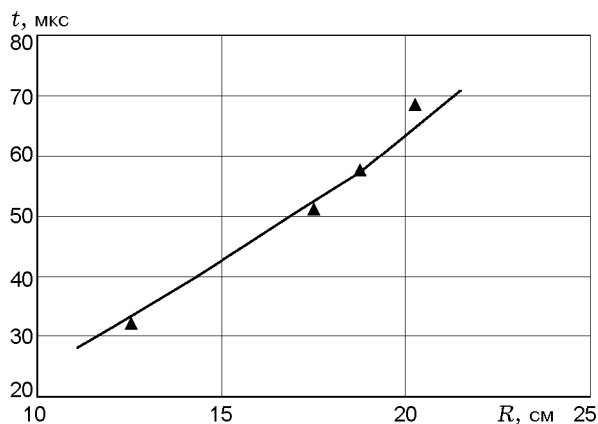


Рис. 4. Зависимость времени прихода взрывной волны от расстояния

появления сигнала на антенне t_d моменту прихода взрывной УВ на антенну подтверждают представленные на рис. 4 данные для $R/r_0 = 5 \div 15$ и $\Delta p/p_0 = 10 \div 50$ при $M = 3 \div 6$. Кривая на этом рисунке соответствует результатам регистрации траектории взрывной УВ в [6], проведенной с использованием механического замыкания волной находящих под напряжением контактов отметчика времени прихода фронта УВ. Точки на рис. 4 соответствуют измеренным временам t_d из работы [5]. Хорошее соответствие измеренной различными методами зависимости времени прихода взрывной УВ от расстояния подтверждает вывод о соответствии времени t_d моменту прихода взрывной УВ на антенну.

Итак, в настоящей работе показано, что при взаимодействии ударных/взрывных волн с антенной на последней появляется электрический потенциал, достаточный для достоверной регистрации момента прохождения фронта ударной/взрывной волны в диапазоне чисел Маха $M = 1,16 \div 6$. Данный факт может использоваться для регистрации положения фронта взрывной волны в ближней зоне взрыва, в том числе и заглубленных зарядов ВВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Magnan P., Rondot F.** Mapping of air overpressure around surrogate AP blast mines // Minutes of the AVT 097/HFM102 RSM Meeting. Koblenz, Germany, 19.05–23.05.2003.
2. **Bergeron D., Kleine H., Milner C. D.** Experimental testing of the Med-Eng foot protection system // DRES-TM-2000-023.2000.402P.
3. **Bergeron D.** AP mine blast physics and the need for common test methods within NATO // Minutes of the AVT 097/HFM102 RSM Meeting. Koblenz, Germany, 19.05–23.05.2003.
4. **Zang F., Frost D., Thibault P. A., Murray S. B.** Explosive dispersal of solid particles // Shock Waves. 2001. V. 10, N 5. P. 431–443.
5. **Богомолов В. М., Воскобойников И. М., Апин А. Я.** Электромагнитные явления, сопровождающие детонацию зарядов мощных ВВ // Взрывное дело. М.: Недра, 1970. № 68/25. С. 197–202.
6. **Адушкин В. В.** О формировании ударной волны и разлете продуктов взрыва в воздухе // ПМТФ. 1963. № 5. С. 107–114.

Поступила в редакцию 2/II 2004 г.