

СРОЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 662.235.5

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ЗАРОЖДЕНИЯ ДЕТОНАЦИИ В ПАССИВНОМ ЗАРЯДЕ

М. А. Лебедев, Б. В. Литвинов

Всероссийский НИИ технической физики,
454070 Снежинск

Для определения параметров детонационных (ДВ) и ударных волн (УВ) широко используется фоторазвертка момента их выхода на торец и боковую поверхность образцов [1, 2].

Согласно методологическим взглядам на роль симметрии в проявлениях действия взрыва [3], авторы применили одновременную регистрацию в этих направлениях при изучении вопроса возникновения и развития процесса детонации в пассивном заряде при его инициировании относительно слабыми УВ.

Такой процесс интересен тем, что является, по меньшей мере, двумерным и зарождается внутри заряда взрывчатого вещества (ВВ) в меньшей характерных размеров заряда ограниченной области, размеры и форма которой скрыты от непосредственного наблюдения.

Одновременная регистрация процесса одной высокоскоростной камерой в двух перпендикулярных направлениях позволила получить ряд значений интервалов времени между моментами выхода ДВ в различные точки поверхности пассивного заряда. Связав эти величины с геометрией заряда, авторы получили систему уравнений, из которой определены место зарождения ДВ, размеры и кривизна фронта, а также средняя скорость детонации на участке между местом зарождения фронта ДВ и ее выходом на свободную поверхность.

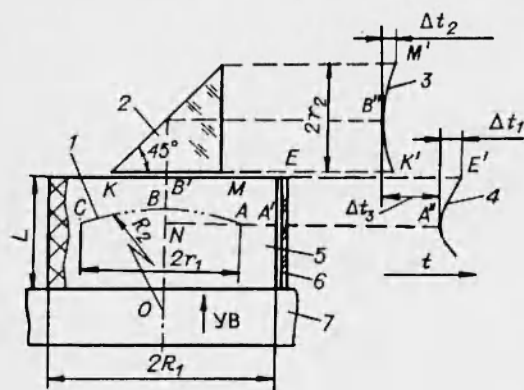


Рис. 1. Схема постановки опыта по возбуждению детонации и эскиз фоторазвертки.

Отсечка 2 выполнена в виде поворотной отражательной призмы, т. е. совмещает выполнение двух локальных функций (фиксация изображения фронта ДВ и поворот изображения на 90°).

На рис. 1 приведена схема постановки такого опыта и схематически изображен результат регистрации с фоторазвертки (рис. 2). Заряд ВВ 5 инициируется УВ. Генератором УВ является активный заряд ВВ, расположенный соосно с пассивным зарядом 5, отделенный от него инертной преградой 7 и инициируемый в центре свободного торца.

В опыте регистрируются выходы ДВ 3 и 4 через воздушный зазор и отсечки из оргстекла 2 и 6 на боковую поверхность и торец заряда соответ-

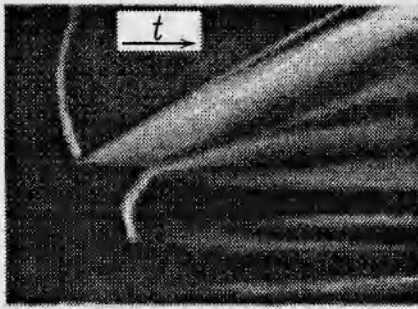


Рис. 2. Фоторазвертка записи выхода детонации на боковую поверхность и торец цилиндрического заряда при $r_2 = 0,5R_1$.

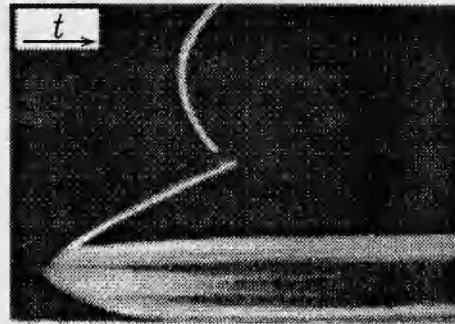


Рис. 3. Фоторазвертка записи выхода детонации на боковую поверхность и торец цилиндрического заряда при $r_2 = R_1$.

Как видно из формы фронтов 3 и 4, возникающая ДВ 1 с фронтом \overline{ABC} сначала выходит в точки A' и B' соответствующих поверхностей заряда, что свойственно изображенному выпуклым в направлении инициирования профилю \overline{ABC} , который считаем в дальнейших выкладках сферическим с начальным радиусом R_2 .

Из точки A волна приходит с неизвестной и (в первом приближении) одинаковой для всех точек фронта усредненной скоростью D в точку A' за время

$$t_1 = \frac{R_1 - r_1}{D}, \quad (1)$$

а в точку E за время $t_2 = t_1 + \Delta t_1$. Поэтому

$$\overline{AE} = R_1 - r_1 + D\Delta t_1. \quad (2)$$

Из треугольника $AA'E$ с учетом (1) и (2) получим, что определяемая из опыта величина отрезка $\overline{A'E}$, может быть также выражена в виде

$$(\overline{A'E})^2 = D^2\Delta t_1^2 + 2D(R_1 - r_1)\Delta t_1. \quad (3)$$

Значение $\overline{BB'}$ может быть выражено из геометрии, и в том числе, рассматривая треугольник OAN , откуда

$$\overline{BB'} = \overline{A'E} - \overline{NB}, \quad \text{т. е. } \overline{BB'} = \overline{A'E} - R_2 + \sqrt{R_2^2 - r_1^2}, \quad (4)$$

а также из одновременности выхода детонации¹ Δt_3 в точки A' и B' :

$$\overline{AA'} - \overline{BB'} = D\Delta t_3, \quad \text{т. е. } \overline{BB'} = \overline{AA'} - D\Delta t_3. \quad (5)$$

Зная из опыта значение Δt_2 , составим еще одно уравнение на момент выхода ДВ диаметром $2r_2$ на торец заряда, т. е. в точки K и M . Так, из рассмотрения треугольника $OB'M$ получим

$$D\Delta t_2 = \overline{OM} - \sqrt{(\overline{OM})^2 - (\overline{B'M})^2},$$

где $\overline{OM} = R_2 + \overline{BB'} + D\Delta t_2$; $\overline{B'M} = r_2$. После простых преобразований

¹Для фотографии, показанной на рис. 3, значение Δt берется со знаком минус.

получим

$$(2\Delta t_2 \Delta t_3 - \Delta t_2^2) D^2 - 2(R_2 + R_1 - r_1) \Delta t_2 D + r_2^2 = 0. \quad (6)$$

Таким образом, чтобы определить обозначенные в уравнениях (3)–(6) параметры r_1, D, R_2 и $\overline{BB'}$, нужно решить эту систему, которая при исключении $\overline{BB'}$ приводится к системе

$$\begin{aligned} \Delta t_1^2 D^2 + 2\Delta t_1 (R_1 - r_1) D - (\overline{A'E})^2 &= 0, \\ (2\Delta t_2 \Delta t_3 - \Delta t_2^2) D^2 - 2(R_2 + R_1 - r_1) \Delta t_2 D + r_2^2 &= 0, \\ \Delta t_3 D - R_1 + r_1 + \overline{A'E} - R_2 + \sqrt{R_2^2 - r_1^2} &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Система уравнений (7), будучи решена численно, например при $R_1 = 6 \cdot 10^{-2}$ м, $r_2 = 3 \cdot 10^{-2}$ м, $L = 6 \cdot 10^{-2}$ м и полученных из результатов обработки фоторазвертки по рис. 2 значений $\overline{A'E} = 15,75 \cdot 10^{-3}$ м, $\Delta t_1 = 0,76 \cdot 10^{-6}$ с, $\Delta t_2 = 0,6 \cdot 10^{-6}$ с и $\Delta t_3 = 1,97 \cdot 10^{-6}$ с, позволила установить геометрию и место возникновения фронта ДВ: $r_1 = 3,86 \cdot 10^{-2}$ м, $R_2 = 1,002 \cdot 10^{-1}$ м, $\overline{BB'} = 8 \cdot 10^{-3}$ м и $D = 6,8 \cdot 10^3$ м/с, в то время как установившаяся скорость детонации испытывавшегося ВВ составляет $8,05 \cdot 10^3$ м/с.

Последнее указывает на существование разгона детонации в исследуемом процессе, который также может быть изучен предлагаемым методом в серии опытов с переменными (варьируемыми) значениями L и R_1 , поскольку при этом можно получить зависимости $D(x, t)$.

Как показали эксперименты, метод хорошо «чувствует» интенсивность УВ, влияние разгрузки и т. д. При этом постановка опыта по рис. 2 позволяет получить дополнительную информацию о скоростях разлета продуктов детонации со свободной поверхности в точке M и выхода ДВ на участке \overline{ME} , свободном от отсечки 2, которая может быть также расположена и асимметрично.

Рассматриваемый метод можно использовать и для регистрации ДВ иной геометрии. Он уточняется введением в состав системы уравнений (7) зависимости $D(x, t)$, полученной в этом же опыте, например, по нескольким реперным (опорным) точкам, измеренным другими методами.

Таким образом, конкретным результатом данного сообщения является новый метод, расширяющий возможности высокоскоростной фотографии. Метод может быть усовершенствован с применением компьютерной техники и использован для разных способов инициирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ М.: Мир, 1973.
2. Held M. Measurement of $D(00)$ of less sensitive with very small charges // 20th Int. Congress on High-Speed Photography and Photonics: Proc. S. I., 1993. P. 323–324.
3. Литвинов Б. В., Лебедев М. А. Симметрия и взрывные устройства // Химическая физика. 1993. Т. 12, № 5. С. 726–734.

Поступила в редакцию 3/Х 1994 г.