

УДК 553.6.011.72:662.1.4

**ПАРАМЕТРЫ ПОЛЯ ВЗРЫВА КОМПАКТНЫХ ЗАРЯДОВ  
ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА НА МАЛЫХ РАССТОЯНИЯХ**

© 2011 г.

*В.А. Марков, А.Ф. Овчинников*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

mva\_2805@mail.ru

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

С использованием аппарата теории размерностей и подобия, сформулированы условия, при которых возможно моделирование процесса взрыва осесимметричного заряда взрывчатого вещества (ВВ) произвольной формы. Конфигурация фронта образующейся при взрыве ударной волны, как показали оптические регистрации, существенно зависит от формы подрываемого заряда ВВ и от места его инициирования, а избыточное давление на фронте ударной волны изменяется по-разному в различных направлениях от заряда.

*Ключевые слова:* взрывчатое вещество, взрыв, поле взрыва, ударная волна, избыточное давление, оптическая регистрация, геометрическое моделирование.

Формирование и распространение ударных волн в воздухе при взрыве заряда взрывчатого вещества (ВВ) представляет собой сложный процесс выделения энергии и ее дальнейшего перераспределения между продуктами детонации и окружающей средой – воздухом. Для определения основных закономерностей этого процесса были использованы методы теории размерностей и подобия [1].

Для правильного применения анализа размерностей необходимо знать характер и общее число переменных, определяющих процесс. Совокупность независимых параметров, определяющих движение ударных волн при взрыве заряда ВВ в воздухе, а также система безразмерных симплексов и комплексов, представлена в [2]. С использованием этих безразмерных величин, называемых также критериями подобия, может быть осуществлено моделирование взрыва зарядов ВВ. Явление взрыва различных зарядов ВВ будут подобны, если их критерии подобия будут соответственно одинаковыми [1].

В общем случае определение параметров ударных волн, образующихся при взрыве, оказывается чрезвычайно сложным, т.к. эти параметры, в частности скорость ударной волны, являются функциями всех ( $m - 4$ ) безразмерных комплексов. Задача существенно упрощается, если натуральный и модельный заряды геометрически подобны и изготовлены из одного и того же ВВ, имеют одинаковую плотность и подрываются в одинаковых условиях (т.е. в воздухе с одинаковыми параметрами), тогда для них одинаков ряд критериев подобия. В результате искомая величина будет

зависеть от 3 оставшихся критериев подобия т.е. от двух безразмерных координат точки, в которой она определяется, и безразмерного времени.

Вид функции может быть определен, если будет известна связь между входящими в нее безразмерными параметрами, т.е. будет известно уравнение движения фронта ударной волны вдоль одной из осей координат и уравнение траектории фронта ударной волны в координатах  $R, z$ .

Если в какой-либо области пространства фронт ударной волны движется прямолинейно, т.е. его траектория представляет собой прямую линию, уравнение которой легко определить, то, совмещая одну из осей координат (например, ось  $R$ ) с этой прямой, получим в новых координатах двухпараметрическую зависимость для параметров ударной волны в этом направлении. Определив экспериментально уравнение движения фронта ударной волны в этом направлении, можно затем найти зависимости для скорости ударной волны и избыточного давления на фронте.

Для оптической регистрации быстропротекающих процессов в работе использовались два метода – метод скоростной киносъемки на теневой установке [3] и разработанный на кафедре СМ4 МГТУ им. Н.Э. Баумана метод скоростной киносъемки с использованием «масок» [2, 4, 5]. При этом между зарядом ВВ и источником света устанавливается «маска» – прозрачная пленка с нанесенными на ней параллельными непрозрачными линиями, перпендикулярными направлению движения фронта ударной волны. Распространение ударной волны регистрируется скоростной кинокамерой типа СФР-2М в режиме щеле-

вой развертки. Положение фронта ударной волны (1 на рис. 1) и продуктов детонации (2 на рис. 1) на фоторегистрации определяется по искажению линий маски вследствие различия показателей преломления воздуха перед фронтом и за ним. Такой метод позволяет получить, начиная с момента детонации заряда ВВ, непрерывную кривую «путь–время» распространения фронта ударной волны в направлениях, где фронт движется прямолинейно. При этом методе максимальная относительная ошибка определения скорости распространения ударной волны не превышает  $\pm 2.5\%$  [6].

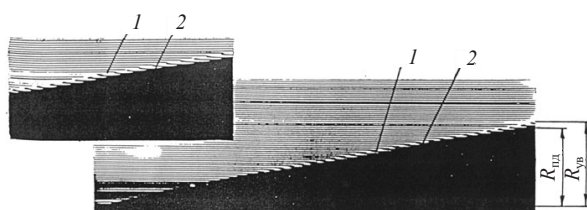


Рис. 1

При взрыве цилиндрического компактного заряда ВВ (высота заряда равна его диаметру), инициируемого из центра, образуется характерная крестообразная в плане конфигурация поля взрыва (рис. 2). Такая конфигурация сохраняется на значительных расстояниях – до 20–30 радиусов заряда.

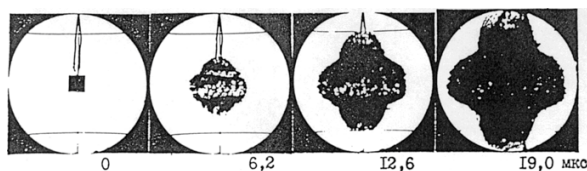


Рис. 2

Можно выделить три зоны, в которых движение ударной волны происходит с наиболее высокой скоростью – «тороидальную», генерируемую продуктами детонации, разлетающимися с боковой поверхности заряда ВВ и две одинаковые «осевые» зоны, образованные продуктами детонации, разлетающимися с торцов заряда.

В центрах симметрии этих зон вектор скорости ударной волны постоянно направлен вдоль соответствующих осей. Как показали результаты подрывов геометрически подобных цилиндрических зарядов из составов тротил–гексоген диаметром от 20 до 60 мм, параметры ударной волны, взятые в безразмерном виде, одинаковы во всем

диапазоне безразмерных расстояний от заряда. Следовательно, осуществляется точное моделирование процесса взрыва цилиндрических зарядов.

Итак, с использованием аппарата теории размерностей и подобия сформулированы условия, при которых возможно моделирование процесса взрыва осесимметричного заряда ВВ произвольной формы. Как показали экспериментальные исследования, при взрыве инициируемых из центра сферических и компактных цилиндрических зарядов из указанных взрывчатых составов избыточное давление на фронте ударной волны в рассматриваемом диапазоне расстояний в 1.3–1.7 раза выше, чем при взрыве зарядов из исследованных ранее ВВ (тротил). Конфигурация фронта образующейся при взрыве ударной волны, как показали оптические регистрации, существенно зависит от формы подрываемого заряда ВВ и от места его инициирования, а избыточное давление на фронте ударной волны изменяется по-разному в различных направлениях от заряда. Получены эмпирические зависимости для вычисления избыточного давления на фронте ударной волны при взрыве инициируемых из центра сферических и компактных цилиндрических зарядов из взрывчатых составов тротил–гексоген.

В работе по подготовке материалов принимал участие В.И. Пусев.

#### Список литературы

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. 432 с.
2. Овчинников А.Ф., Марков В.А., Плахов С.И., Пусев В.И. Параметры компрессионного действия компактных зарядов взрывчатого вещества на малых расстояниях // Оборонная техника. 2004. №1-2. С. 37–43.
3. Саламандра Г.Д. Фотографические методы исследования быстротекущих процессов. М.: Наука, 1974. 174 с.
4. Овчинников А.Ф. и др. Поле давлений при взрыве в воздухе зарядов конденсированных взрывчатых веществ на малых расстояниях // Оборонная техника. 2003. №3-4. С. 42–44.
5. Иванов В.Н. и др. Экспериментальные параметры поля взрыва компактных зарядов взрывчатого вещества на малых расстояниях. Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: Матер. IX Междунар. симпозиум. Ярополец, 10–14 февраля 2003 г. М.: Изд-во МАИ, 2003. С. 158–159.
6. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е. В 2 т. М.: Физматлит, 2004.

**EXPLOSION FIELD PARAMETERS FOR COMPACT SHAPED CHARGES EXPLODED  
AT SMALL DISTANCES***V.A. Markov, A.F. Ovchinnikov*

Using the means of the theory dimensions and similarity, conditions are formulated, under which it is possible to model the explosion process of an axisymmetrical explosive charge of arbitrary shape. The optical recorders showed that configuration of the shock wave formed during the explosion depends significantly on the shape of the charge and initiation point, and positive pressure in the shock wave front changes differently in different directions from the charge.

*Keywords:* explosive, explosion, explosion field, shock wave, optical registration, geometric modelling.