

О ФОКУСИРОВКЕ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВЕ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАРЯДОВ В ВОЗДУХЕ

А. В. Пинаев, В. Т. Кузавов, В. К. Кедринский

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090 Новосибирск

Экспериментально исследовано поле давления в области фокуса и на оси кольцевого заряда при его взрыве в воздухе, когда детонация инициируется в одной точке кольца и распространяется одновременно по двум его сторонам. Показано, что давление во фронте ударных волн на оси кольцевых зарядов при различных способах распространения детонации практически совпадает на расстояниях, больших трех радиусов кольца. На расстоянии от плоскости кольцевого заряда до двух его радиусов давление в центре фокуса существенно превышает давление на оси заряда.

ВВЕДЕНИЕ

Результаты исследования параметров ударных волн (УВ) от взрыва сферических и цилиндрических зарядов в воздухе, воде и грунтах содержатся в [1]. Взаимодействие УВ в результате взрыва двух удаленных друг от друга зарядов рассмотрено в [2, 3]. В [2] теоретически решена задача об усилении УВ в воздухе при догоне одной волны треугольного профиля другой, в [3] экспериментально показано, что при последовательном взрыве в воде двух сферических зарядов можно получить результирующую волну с амплитудой большей, чем от взрыва заряда, равного суммарной массе зарядов. В [4] приведены особенности структуры УВ при подводном взрыве пространственных зарядов — колец и спиралей из детонационного шнура. Пространственные заряды ВВ благодаря большой мощности излучения и конечной скорости детонации могут быть использованы в гидроакустике и геофизике для решения проблем управления структурой и длительностью акустических сигналов.

В [5] экспериментально исследована структура и сравнительные параметры ударных волн в воздухе на оси симметрии пространственных зарядов типа колец, плоских спиралей и витка объемной спирали. Наиболее существенным преимуществом пространственных зарядов из детонационного шнура по сравнению с эквивалентными (с одинаковой массой ВВ) сосредоточенными зарядами является возможность генерации ими пакета УВ, длительность и параметры которого определяются длиной детонационного шнура и характерными размерами заряда.

В связи с конечной скоростью распространения детонации по кольцевому заряду фокусировка УВ происходит в его внутренней области, смещенной относительно центра. Следует ожидать, что давление в фокусе будет превышать давление в центре заряда, как это отмечалось в случае подводного взрыва [6]. Заметим, что при подводном взрыве отношение скорости детонации к скорости УВ в воде даже в ближней зоне сохранялось постоянным (≈ 5) из-за относительно слабой интенсивности УВ. Аналогичных исследований по фокусировке УВ при взрыве кольцевых зарядов в воздухе не существует. Процесс фокусировки УВ в воздухе более сложен, так как здесь (в отличие от подводного взрыва) не выполняется акустическое приближение, скорость волны и давление во фронте существенно изменяются с удалением от шнурового заряда [5, 7].

В настоящей работе исследовано схождение УВ при взрыве кольцевого заряда в воздухе в постановке, когда детонация инициировалась в одной точке и распространялась одновременно по двум сторонам кольца. При таком варианте инициирования область фокусировки УВ расположена выше центра заряда, симметрично относительно диаметра, на котором лежит точка инициирования детонации. Можно ожидать, что в этой схеме эксперимента давление в фокусе должно быть больше, чем в случае движения детонации по кольцу в одном направлении, где область фокусировки несимметрична и смещена в сторону от упомянутого диаметра.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Опыты проводили в сферической взрывной камере с внутренним диаметром 10 м.

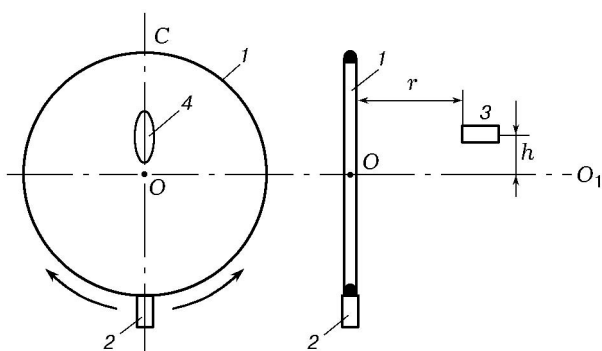


Рис. 1. Схема постановки эксперимента:
 1 — кольцевой заряд, 2 — детонатор, 3 — пьезодатчик, 4 — область фокусировки ударных волн

Кольца изготавливались из промышленного детонационного шнура (ДША), заряд — гексоген плотностью $\approx 1,6 \text{ г/см}^3$, диаметр заряда 3 мм, погонная масса ВВ $11 \div 12 \text{ г/м}$, наружный диаметр внешней инертной оболочки 4,8 мм, погонная масса 11 г/м. Удельная теплота взрыва ВВ 1400 ккал/кг, скорость детонации 7,5 км/с. Заряд инициировали промышленными высоковольтными капсюлями ЭД-637 с содержанием вторичного ВВ 0,3 г.

Кольцевой виток радиусом $R_0 = 150 \text{ мм}$ (длина шнура $L \approx 1 \text{ м}$) наматывали на жесткий каркас цилиндрической формы из стальной проволоки диаметром 6 мм и подвешивали на высоте $\approx 2 \text{ м}$ от уровня пола. В опытах не возникало заметных паразитных эффектов от взаимодействия УВ и продуктов детонации ВВ с проволочным каркасом. Фокусировка УВ исследовалась в двух постановках:

- (а) в диаметрально-симметричной — детонация распространяется одновременно по двум сторонам (рис. 1);
- (б) несимметричной — детонация распространяется по окружности в одном направлении, как и в работах [5, 6].

Давление измерялось пьезодатчиком, расположенным перпендикулярно плоскости кольца на расстояниях $r^* = r/R_0 = 1 \div 10$. В постановке (а) область фокуса находится выше центра O , пьезодатчик расположен на расстоянии r от плоскости заряда и на высоте h от оси OO_1 в плоскости, проходящей через радиус OC и ось OO_1 (см. рис. 1).

Сигналы датчика давления регистрировались через истоковый повторитель с коэффици-

ентом усиления $k = 1$ и входным сопротивлением 10^9 Ом на цифровом осциллографе С9-16, информация с которого считывалась на компьютер. Запуск осциллографа осуществлялся генератором задержки импульсов ГЗИ-6, который срабатывал от высоковольтного импульса тока, подаваемого на детонатор. Конструкция датчиков и способ измерения давления описаны в [5, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В постановке опытов (а) форма волны и значение давления вблизи заряда существенно зависят от расстояния h . На оси заряда ($h = 0$) при $r^* \leq 1$, как и в [5], регистрируется двухволновая структура (рис. 2, а), где первый фронт с амплитудой давления 7 МПа принадлежит сходящейся УВ, а второй фронт (9,7 МПа) с запаздыванием примерно в 30 мкс — волне давления, излучаемой после фокусировки УВ в зоне 4. Амплитуда давления во второй волне обычно в полтора-два раза выше, чем в первой.

При смещении датчика по вертикали от оси структура УВ заметно меняется (рис. 2, б): регистрируется одна волна с амплитудой давления 14,7 МПа и профилем, близким к треугольному. Значения максимального скачка давления на фронте волны $\Delta p(h, r^*)$ приведены на рис. 3. В ближней зоне при $r^* = 1$ в интервале $h = 35 \div 45 \text{ мм}$ величина Δp возрастает в

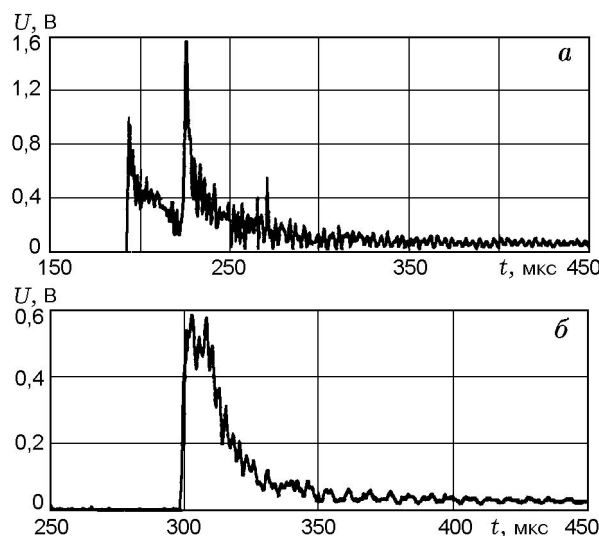


Рис. 2. Осциллограммы давления при распространении детонации по кольцевому заряду в диаметрально-симметричной постановке опытов (см. рис. 1), $r/R_0 = 1$:
 а — $h = 0$, б — $h = 45 \text{ мм}$

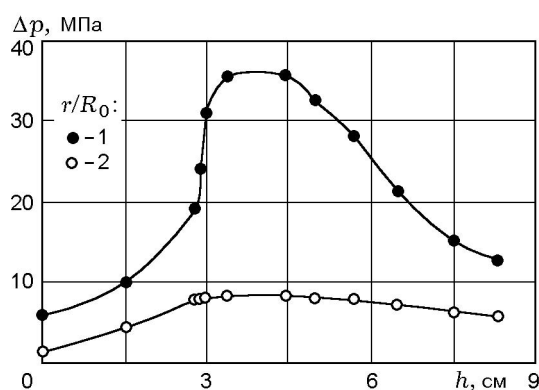


Рис. 3. Перепад давления в зависимости от смещения датчика от оси кольцевого заряда (диаметрально-симметричная постановка опытов (см. рис. 1))

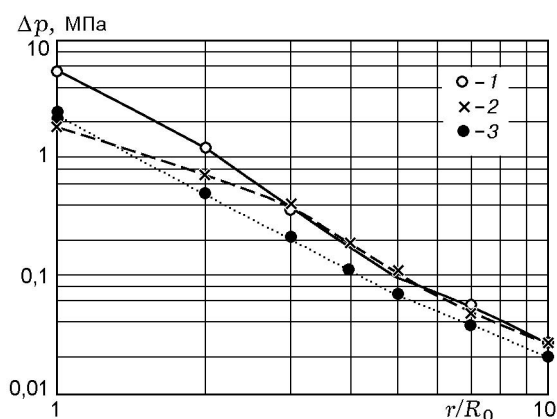


Рис. 4. Перепад давления в проходящей УВ на оси зарядов с одинаковой массой ВВ в зависимости от r/R_0 ($R_0 = 150$ мм)

1, 2 — кольцевой заряд в диаметрально-симметричной и несимметричной постановках опытов соответственно, 3 — сферический заряд

шесть раз, достигая 35,5 МПа. Оказалось, что для упомянутых параметров кольцевого заряда фокальная область при $r^* = 1$ имеет характерный размер порядка 1 см. С удалением от заряда волновая структура сохраняется и профиль волны подобен представленному на рис. 2, б, однако фокальная область становится менее выраженной и при $r^* = 2$ амплитуда УВ убывает более чем в пять раз, а зависимость $\Delta p(h)$ становится более полой.

Эксперименты с инициированием детонации в одном направлении показали, что давление во фронте УВ, регистрируемое на оси кольцевого заряда, при $r^* \geq 3$ практически совпадает с данными, полученными в рамках постановки опытов (а). Однако вблизи заряда

($r^* < 3$) на оси кольца в экспериментальной схеме (а) значения Δp в два-три раза выше, чем в схеме (б) (рис. 4).

Эксперименты, проведенные со сферическими зарядами эквивалентной массы ВВ (кривая 3, рис. 4), показали, что кольцевые заряды дают выигрыш в давлении на оси не менее чем в два-три раза по сравнению с сосредоточенными зарядами на одних и тех же абсолютных расстояниях от геометрического центра. Объяснение этого эффекта приведено в [5] и связано с более резким спадом давления с расстоянием для сферического случая по сравнению с цилиндрическим и плоским.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований при симметричном инициировании детонации определены эффективные размеры области фокусировки в ближней зоне и установлено, что на расстоянии от плоскости кольцевого заряда до двух его радиусов давление в центре фокуса (примерно в шесть раз) превышает давление на оси заряда.

Исследована динамика профилей давления ударных волн при переходе в область фокусировки УВ при двух способах распространения детонации на различном удалении от заряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Механическое действие взрыва:** Сборник. М.: Ин-т динамики геосфер РАН, 1994.
2. **Цикулин М. А.** О догоне одного треугольного профиля давления другим и асимптотика ударных волн // ПМТФ. 1960. № 2. С. 132–134.
3. **Стебновский С. В.** Взаимодействие ударных волн при последовательном подводном взрыве сферических зарядов // ПМТФ. 1978. № 4. С. 87–93.
4. **Кедринский В. К.** Особенности структуры ударных волн при подводных взрывах спиральных зарядов // ПМТФ. 1980. № 5. С. 51–59.
5. **Пинаев А. В., Кузавов В. Т., Кедринский В. К.** Структура ударных волн в ближней зоне при взрыве пространственных зарядов в воздухе // ПМТФ. 2000. Т. 41, № 5. С. 81–90.
6. **Кедринский В. К., Кузавов В. Т.** Подводный взрыв кольцевого заряда вблизи свободной поверхности // ПМТФ. 1983. № 4. С. 124–130.
7. **Цикулин М. А.** Воздушная ударная волна при взрыве цилиндрического заряда большой длины // ПМТФ. 1960. № 3. С. 188–193.
8. **Лямин Г. А., Пинаев А. В., Лебедев А. С.** Пьезоэлектрики для измерения импульсных и статических давлений // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 3. С. 94–103.

Поступила в редакцию 6/VI 2000 г.