

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН
В ВЕЩЕСТВЕ ПРИ ЕГО СОХРАНЕНИИ
В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АМПУЛАХ**

*Г. А. Ададуров, А. Н. Дремин, Г. И. Канель,
С. В. Першин
(Москва)*

В описанной ранее методике по сохранению ударно сжатых веществ в цилиндрических ампулах [1] параметры ударных волн не определялись. В настоящей работе приводятся экспериментальные результаты, полученные при исследовании возможности определения кинематических параметров ударных волн в указанных условиях.

В качестве модели исследовались прозрачные вещества (плексиглас, стекло, вода), а также вещества в пористом состоянии (NiO, NaCl). В зависимости от условий опыта исследуемые вещества помещались в ампулы из стали Ст.3, плексигласа или использовались в виде стержней. При изготовлении зарядов использовались различные взрывчатые вещества: гексоген с начальной плотностью $\rho_0 = 1,20 \text{ г/см}^3$, литой состав тротил-гексоген 40/60 и нитрометан. Диаметры зарядов изменялись от 60 до 120 мм, но так, чтобы разгрузка не оказывала влияния на форму ударной волны в исследуемом веществе.

Регистрация профилей и скоростей ударных волн в прозрачных веществах проводилась на фоторегистре СФР-1 через щель при скорости движения луча по пленке 3 мм/мксек (рис. 1). Массовая скорость движения вещества за фронтом ударных волн во времени $u(t)$ регистрировалась по электромагнитной методике [2].

При детонации заряда ВВ в ампуле и исследуемом веществе генерируется конусообразная сходящаяся ударная волна, ведомая детонацией. Когда ударная волна выходит в воздушные зазоры (0,05 мм), происходит кратковременное высвечивание последних, что позволяет выявить профиль ударной волны и определить скорость ее распространения, поскольку расстояния между зазорами и времена известны. На рис. 2 приведены типичные фотохронограммы, полученные в плексигласе. Аналогичные фотохронограммы получаются в стекле и воде.

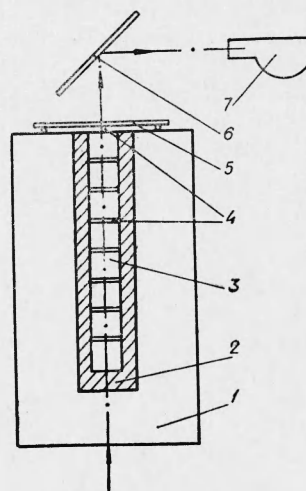


Рис. 1. Принципиальная схема опытов с применением фоторегистра.

1 — заряд ВВ; 2 — ампула; 3 — исследуемое вещество; 4 — воздушные зазоры; 5 — плексиглас; 6 — зеркало; 7 — фоторегистр.

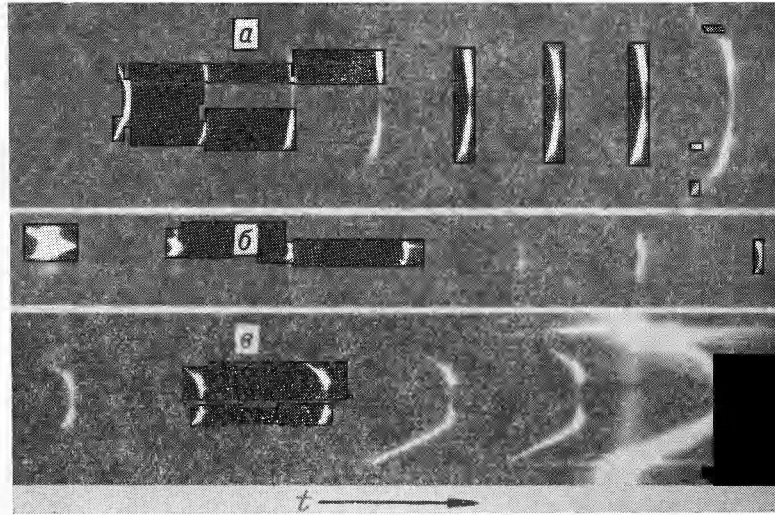


Рис. 2. Фотохронограммы распространения ударных волн в плексиглазовых цилиндрах, возбуждаемых гексогеном ($\rho_0=1,20 \text{ г/см}^3$). (Отличие в углах падающей волны на фотохронограммах *a* и *б, в* связано с различным коэффициентом уменьшения исследуемого объекта).

a — образование головной волны в чистом виде (диаметр цилиндра 25 мм, длина 110 мм); *б* — цилиндр диаметром 15 мм и длиной 100 мм в стальной ампуле; *в* — трехударная конфигурация на стационарном участке (диаметр цилиндра 34 мм).

Принципиальная схема опытов по электромагнитной методике приведена на рис. 3. В качестве исследуемых веществ использовались плексиглас, а также NaCl в пористом состоянии.

Известно, что при больших углах столкновения ударных волн, превышающих некоторое критическое значение, образуется трехударная конфигурация [3]. В твердых телах образование трехударной конфигурации при столкновении плоских ударных волн исследовалось в работах [4, 5].

Полученные в настоящей работе результаты показывают, что, когда скользящая по цилиндру из инертного вещества детонационная волна

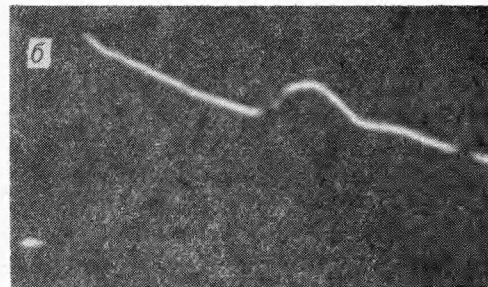
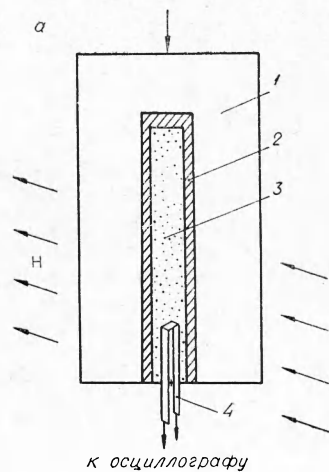


Рис. 3. Принципиальная схема опытов по электромагнитной методике (*a*) и запись $u(t)$ в плексигласе (*б*). (Между метками времени 2 мксек, завал переднего фронта 0,2 мксек, рабочая длина датчика 7 мм). 1 — заряд ВВ; 2 — ампула из плексигласа; 3 — исследуемое вещество; 4 — электромагнитный датчик; H — направление магнитного поля.

генерирует в нем конусообразную сходящуюся ударную волну и ведет ее, также может образовываться трехударная конфигурация (рис. 2). Систематического исследования в настоящем случае не проводилось. Работа выполнена с целью возможности определения параметров ударных волн в различных веществах в конкретных условиях сохранения [1], когда диаметр стержней из исследуемых веществ не превышал 35 мм, а длина изменялась от 60 до 300 мм.

Полученные результаты показывают, что в зависимости от условий проведенных опытов (свойств и диаметра исследуемого вещества, скорости детонации, геометрии ампулы и образца и т. д.) изменение формы трехударной конфигурации происходит на расстояниях до 75 мм. На этом же участке происходит и изменение скорости ее распространения. Например, при использовании заряда из гексогена с $\rho_0 = 1,20 \text{ г/см}^3$ в цилиндре из плексигласа диаметром 25 мм стационарные размер и скорость головной волны устанавливаются на расстоянии $\sim 50 \text{ мм}$. При дальнейшем распространении эти величины остаются неизменными. Существенно, что для всех исследованных веществ после установления скорость головной волны равна скорости детонации использованных зарядов ВВ. Точность измерения скорости головной волны составляет $\pm 3,5\%$ при использовании заряда гексогена набивной плотности. При использовании зарядов из однородного ВВ — нитрометана — $\pm 2\%$.

Специальные опыты показали, что скорость головной волны на стационарном участке не зависит от условий ее зарождения. Например, когда исключение прямого воздействия плоской детонационной волны на торец цилиндра прокладкой из очень пористой окиси магния приводило к схождению конусообразной ударной волны на начальном участке, и головная волна образовывалась в «чистом виде».

Уменьшение диаметра исследуемого вещества в стальной ампуле до 15 и 5 мм, способствует более быстрому установлению скорости головной волны (показано на плексигласе и стекле). Нестационарный участок в этих случаях сокращается до 35 и 10 мм соответственно.

Величина массовой скорости, полученная по электромагнитной методике (рис. 3, б), равна 2,45 км/сек, что с точностью до 2% соответствует массовой скорости, рассчитанной из ударной адиабаты плексигласа по скорости головной волны, равной скорости детонации в гексогене $\rho_0 = 1,20 \text{ км/см}^3$. Обращает внимание незначительная величина завала фронта $u(t)$, что говорит о небольшом искривлении головной волны в сплошных веществах. Незначительное увеличение массовой скорости спустя $\sim 2 \text{ мксек}$ (рис. 3, б) можно объяснить вторичным отражением ударной волны от границы плексиглас — продукты взрыва.

Исследование структуры ударной конфигурации в ампулах с пористыми веществами затруднено из-за их непрозрачности. Поэтому головные волны в стали и пористых NiO и NaCl наблюдались только при выходе трехударной конфигурации на свободную поверхность (рис. 4). Таким образом, сжатие вещества в описанных условиях осуществляется проходящей ударной

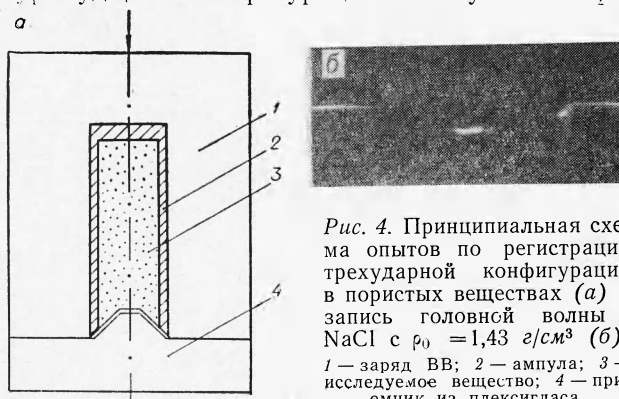


Рис. 4. Принципиальная схема опытов по регистрации трехударной конфигурации в пористых веществах (а) и запись головной волны в NaCl с $\rho_0 = 1,43 \text{ г/см}^3$ (б). 1 — заряд ВВ; 2 — ампула; 3 — исследуемое вещество; 4 — приемник из плексигласа.

волной, движущейся вдоль исследуемого вещества со скоростью детонации. В работе [6] задача по определению параметров ударных волн в исследуемом веществе для описанных условий решалась в предположении, что вещество сжимается сходящейся цилиндрической ударной волной.

Наличие трехударной конфигурации и равенство скорости детонации и скорости головной волны в описанных условиях позволяет рас-

Веще- ство	Началь- ная плот- ность, г/см ³	D, км/сек	u, км/сек	$\rho \cdot 10^{-10} \frac{DH}{с.м^2}$
NaCl	2,16	7,85	3,24	54,7
KBr	2,75	7,68	4,02	84,9
W	19,17	7,90	3,07	465
Cu	8,90	7,90	2,62	184

считывать без каких-либо дополнительных измерений (только по величине скорости детонации) параметры за фронтом ударных волн при однократном сжатии головной волной в веществах, ударная адиабата которых известна.

Большие скорости трехударной конфигурации, равные скорости детонации, приводят к весьма высоким значениям ударных параметров в веществ-

вах с большой динамической жесткостью и достигаются они очень простым экспериментом, позволяющим не только сохранять вещество после ударного воздействия, но и, как показано в настоящей работе, оценивать параметры его ударного сжатия.

С целью иллюстрации в таблице приведены для некоторых веществ параметры ударных волн, близкие к параметрам, получающимся при использовании заряда ТГ 40/60, имеющего скорость детонации 7,90 км/сек. Данные заимствованы в работах [7, 8, 9].

В реальных условиях сохранения используются стальные ампулы. Наличие дна приводит к отражению ударных волн, если динамическая жесткость исследуемого вещества меньше динамической жесткости стали. Поэтому вещество в нижней части ампулы претерпевает двукратное сжатие. Параметры двукратного сжатия можно оценить с использованием p, u -диаграмм.

Отметим, что описанные условия могут быть использованы в ряде случаев для регистрации ударных адиабат при очень высоких давлениях по методу отражения.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что детонационные волны цилиндрических зарядов ВВ возбуждают в цилиндрах из инертных веществ, расположенных по оси заряда, конусообразные ударные волны с образованием головной волны.

2. Показано, что головные волны возникают в твердых, жидких и пористых веществах.

3. Установлено, что скорость распространения трехударной конфигурации равна скорости детонации используемого заряда взрывчатого вещества. Это дает возможность оценивать параметры ударных волн в веществах, ударные адиабаты которых известны по скорости детонации ВВ.

Поступила в редакцию
6/VI 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Адауров, О. Н. Бреусов и др. ФГВ, 1966, 4.
 2. А. Н. Дремин, Г. А. Адауров. ФТТ, 1964, 6, 6, 1757.
 3. Г. Курант, К. Фридрихс. Сверхзвуковое течение и ударные волны. М., ИЛ, 1950.
 4. Г. А. Феоктистова. Докл. АН СССР. 1961, 136, 6, 1325.
 5. Л. В. Альтшулер, С. Б. Кормер и др. ЖЭТФ, 1961, 41 (11), 1382.
 6. С. С. Бацанов, А. А. Дерибас, С. А. Кутолин. Научно-технические проблемы горения и взрыва, 1965, 52.
 7. Л. В. Альтшулер, Л. В. Кулешова, М. Н. Павловский. ЖЭТФ, 1960, 39, 1.
 8. Л. В. Альтшулер, М. Н. Павловский и др. ФТТ, 1963, 5, 1.
 9. R. G. McOveen, S. P. Marsh. J. Appl. Phys., 1960, 31, 7.
-