

## СИММЕТРИЯ И НЕКОТОРЫЕ КУМУЛЯТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ВЗРЫВАХ В ВОДЕ

Рассмотрены общие закономерности формирования кумулятивных явлений в системах с расходящимися ударными волнами. Высказано утверждение, что преобразовать последние в сходящиеся УВ с целью формирования кумулятивных явлений можно, если включить в состав взрывного устройства специальные формирующие элементы. Приводятся результаты экспериментального подтверждения высказанного утверждения. Показана существенная роль симметрии в формировании кумулятивных эффектов.

Кумулятивные явления обычно связывают с высокой степенью симметрии взрывного процесса [1]. Наибольшую степень кумуляции энергии можно получить во взрывных устройствах (ВУ) со сходящимися ударными волнами (УВ). Представляет не меньший интерес вызвать кумулятивные явления в системах с расходящимися УВ. Одна из таких возможностей — введение в систему ВУ [2, 3] геометрической или физической неоднородности, нарушающей симметрию исходного процесса.

Примером такого нарушения может быть опыт, представленный на рис. 1. В стальную трубку диаметром 38 и толщиной стенки 1 мм помещается соосно цилиндрический заряд взрывчатого вещества (ВВ) диаметром 10 мм. Стальная трубка и ВВ погружаются в воду, но вдоль образующей трубки формируется воздушная полость. Видимая на рентгенограммах разная толщина стальной трубки обусловлена несоосностью системы: стальная трубка — ВВ и рентгеновской трубки. Несмотря на этот недостаток, на рис. 1, б отчетливо видно, что стальная трубка в месте расположения воздушной полости растягивается больше, чем в других местах. Отмечается явное изменение симметрии движения из осесимметричного в движение с односторонней направленностью. Расходящаяся УВ в воде, вызванная взрывом цилиндрического заряда ВВ при выходе на границу воздушной полости формирует из воды кумулятивную струю, которая растягивает стальную оболочку в одном направлении, а затем рвет ее.

Такое преобразование расходящихся ударных или детонационных волн в сходящиеся всегда можно осуществить включением в состав ВУ специальных формирующих (преобразующих) элементов. Ниже приводится экспериментальное подтверждение высказанного утверждения.

На рис. 2 приведены фотографии стальной пластины толщиной 2 мм со следами воздействия кумулятивных струй, формирующихся из никелевых трубок диаметром  $d = 5,4$  и толщиной стенки  $\Delta = 0,2$  мм, заполненных воздухом и расположенных на пластине в воде, при подрыве в воде листового заряда из пластичного ВВ на основе гексогена толщиной 6 мм на расстоянии 25 мм от пластины.

На рис. 3 показаны части цилиндрической сталь-

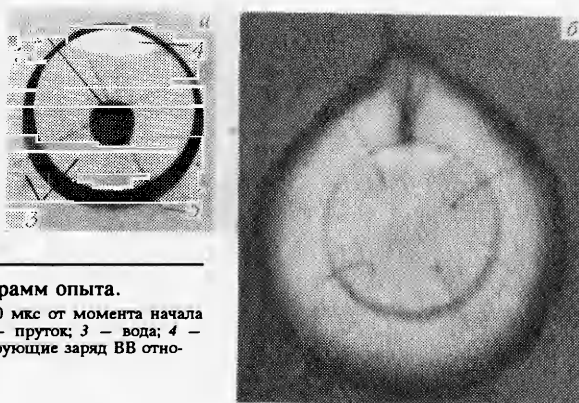


Рис. 1. Отпечатки рентгенограмм опыта.

а — статический снимок ВУ; б — через 110 мкс от момента начала детонации прутка. 1 — стальная трубка; 2 — пруток; 3 — вода; 4 — воздушная полость; 5 — проволочки, центрирующие заряд ВВ относительно трубки.

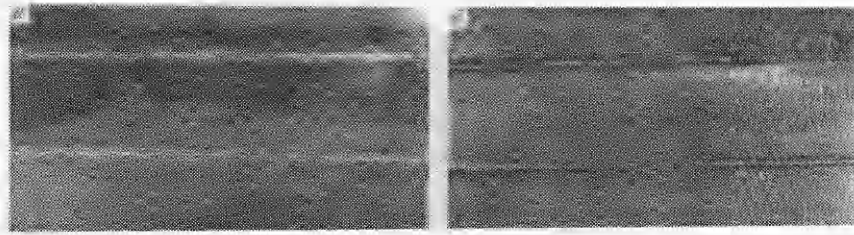


Рис. 2. Вид стальной пластины со следами воздействия кумулятивных струй со стороны расположения воздушных полостей (а) и с противоположной расположению воздушных полостей стороны (б).

ной трубы длиной  $l = 100$  ( $d = 38$  и  $\Delta = 1$  мм), разрезанной кумулятивными струями после подрыва в ней расположенного соосно прутка ВВ диаметром 10 мм. Эти струи появлялись в местах расположения заполненных воздухом трубок из различных материалов. Последние устанавливались внутри трубы по образующей цилиндра, и таким образом формировали воздушные полости в воде, которая заполняла разрезаемую трубу.

Из сравнения рис. 2 и 3 видно: если преграда имеет цилиндрическую геометрию, то она разрушается сильнее. Этот факт можно объяснить наличием тангенциальных растягивающих напряжений, которые и разрушают трубу именно в местах, предварительно ослабленных кумулятивными струями.

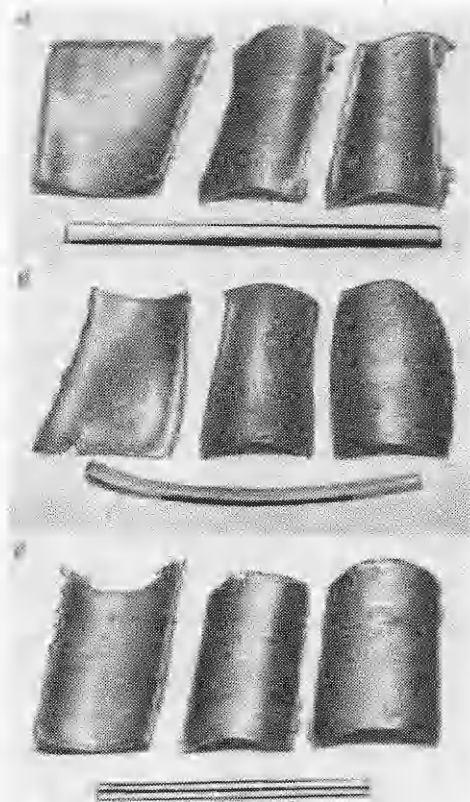
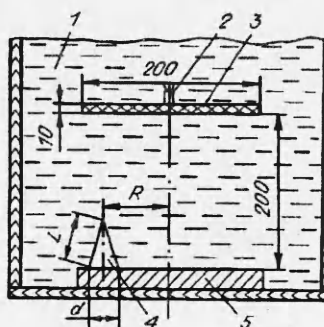


Рис. 3. Вид частей разрезанной взрывом стальной трубы и трубок, формирующих воздушные полости в местах резания.  
 а — трубка,  $d = 6$  мм из бумаги толщиной 0,3 мм; б — трубка хлорвиниловая,  $d = 6$  мм и  $\Delta = 0,5$  мм; в — трубка из никеля,  $d = 5,4$  мм,  $\Delta = 0,2$  мм.

Рис. 4. Схема постановки опытов.

1 — вода; 2 — электродетонатор; 3 — заряд ВВ из ТТ 40/60; 4 — воздушная полость; 5 — преграда.



В отличие от предыдущей серии опытов, где изучалось преобразование расходящегося симметричного движения в сходящееся в одной плоскости, в последующих экспериментах исследовались более сложные случаи.

В качестве элемента, снижающего степень симметрии ударно-волнового процесса, на границе воды с преградой, выполненной из алюминиевого сплава Д16, формировались осесим-

Форма воздушной полости	R, мм	d, мм	L, мм	Параметры кратера			Вид кратера
				a, мм	h, мм	v, см <sup>3</sup>	
Конус	60	47	54	14	20	2,5	Рис. 5, а
	0	47	54	10	35	8	Рис. 5, б
	0	94	108	20	51	14	Рис. 5, в
Пирамида трехгранная	0	94	108	26	25	10	Рис. 6
Пирамида четырехгранная	0	94	108	35	35	13	Рис. 7

Примечание. За диаметр кратера  $a$  в последних двух опытах принят диаметр описанного вокруг кратера круга на поверхности преграды,  $h$  — глубина кратера,  $v$  — его объем.

метричные воздушные полости разной формы из медной фольги толщиной 0,1 мм. Полости имели форму конуса, а также трехгранной и четырехгранной пирамид, по размеру вписанных в этот конус.

Постановка опытов показана на рис. 4, а результаты — в таблице и на рис. 5—7. При этом на рис. 6, а и 7, а проведены линии, соответствующие проекциям на преграду ребер пирамиды. Из фотографий и таблицы видно, что симметрия падения УВ на воздушную полость влияет не только на направление струи, которая в опыте при асимметричном относительно заряда расположении конуса с  $R = 60$  мм (см. рис. 5, а) отклоняется от вертикали на угол  $\sim 40^\circ$ , но и на эффективность пробития преграды (см. рис. 5, б). Последний результат можно объяснить отсутствием теневых (относительно фронта УВ) зон у воздушной полости при симметричном падении УВ на диссимметризирующий элемент.

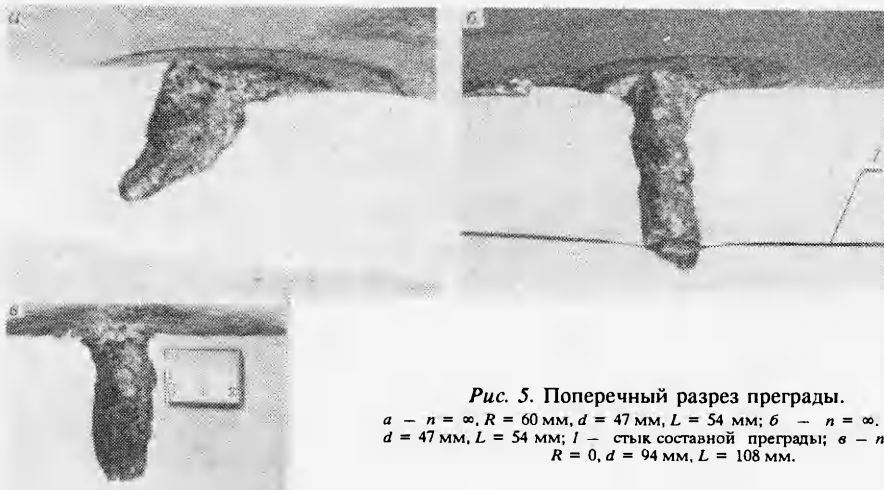


Рис. 5. Поперечный разрез преграды.

а —  $n = \infty$ ,  $R = 60$  мм,  $d = 47$  мм,  $L = 54$  мм; б —  $n = \infty$ ,  $R = 0$ ,  $d = 47$  мм,  $L = 54$  мм; в — стык составной преграды; г —  $n = \infty$ ,  $R = 0$ ,  $d = 94$  мм,  $L = 108$  мм.

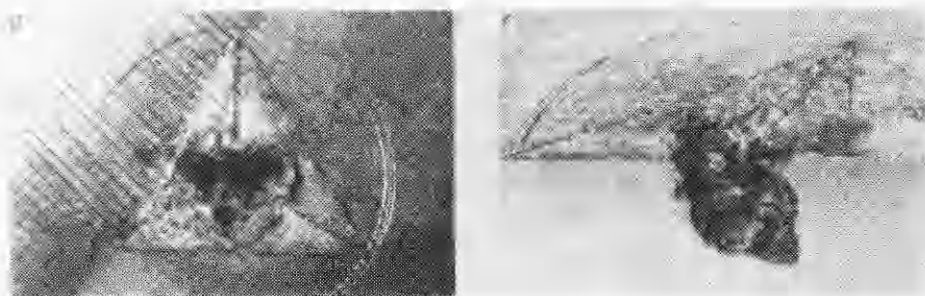


Рис. 6. Вид сверху (а) и поперечный разрез (б) преграды ( $n = 3$ ,  $R = 0$ ,  $d = 94$  мм,  $L = 108$  мм).



Рис. 7. Вид сверху (а) и поперечный разрез (б) преграды ( $n = 4$ ,  $R = 0$ ,  $d = 94$  мм,  $L = 108$  мм).

Возрастание глубины и объема кратера при переходе от трехгранной пирамиды (порядок осевой симметрии  $n = 3$ ) к четырехгранной ( $n = 4$ ) и затем к конусу ( $n = \infty$ ) показывает увеличение влияния степени симметрии ВУ на направленность (полярность) явления кумуляции. Так, при выполнении воздушной полости в форме пирамиды образуется несколько частично взаимодействующих между собой струй, число которых равно порядку осевой симметрии  $n$  (см. рис. 6, а и 7, а). Степень их взаимодействия увеличивается, и при  $n = \infty$  формируется единая струя (см. рис. 5, б).

Проведенные эксперименты подтверждают существенную роль симметрии в формировании кумулятивных эффектов. Из этих же примеров видно, что кумуляция в системах с расходящимися УВ зарождается на границе сред с различной акустической жесткостью при выходе УВ из более жесткого материала в менее жесткий. Именно степень отличия акустических жесткостей может быть одним из показателей степени нарушения симметрии исходного ударно-волнового процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Забабахин Е.И., Забабахин И.Е. Явления неограниченной кумуляции. — М.: Наука, 1988. — 172 с.
2. Литвинов Б.В., Лебедев М.А. Симметрия и взрывные устройства // III Забабахинские научные чтения: Тез. докл. — Челябинск: ВНИИТФ, 1991. — С. 80.
3. Лебедев М.А., Литвинов Б.В. Особенности методологии создания взрывных устройств // X Симпозиум по горению и взрыву. Детонация. — Черногоровка, 1992. — С. 41—43.

454070, г. Челябинск,  
НИИ технической физики

Поступила в редакцию  
19/III 1993