

А. С. ГЕРАСЬКИН, В. Н. КОРЧАГИН, С. А. ЛОВЛЯ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВА В ВОЛНОВОДЕ

(Представлено академиком Л. И. Седовым 10 IV 1970)

Взрыв в воде имеет важное техническое значение<sup>(1, 2)</sup>. Однако условия проведения взрывов в опубликованных работах иногда существенно отличаются от тех, в которых его применяют для практических целей, в частности при выполнении взрывных работ в водозаборных и нефтяных скважинах. В последнем случае при взрыве заряда в.в. в трубе (обсадная или бурильная колонны, фильтр) последняя играет роль волновода, конструкция которого и свойства затрубной среды существенно меняют параметры волнового поля внутри и вне трубы. В качестве примера влияния условий на параметры волны, распространяющейся в волноводе по жидкости, укажем, что<sup>(3)</sup> при взрыве в скважине, обсаженной 8" обсадной колонной пятикилограммового заряда на глубине 1700 м, к поверхности подходит волна с давлением 150 кГ/см<sup>2</sup> \*. В свободном же водоеме давление от взрыва такого заряда снижается до 150 кГ/см<sup>2</sup> уже на расстояниях 6—8 м. Недочет специфики взрывов в волноводах приводит к ошибкам в выборе заряда и даже к авариям при проведении работ.

Изучение волнового поля, возникающего внутри и вне труб различной конструкции при взрыве в них небольших зарядов (электродетонаторы, отрезки детонирующего шнура длиной до 5 м), проводилось в двух вариантах: в обсаженной скважине и в бассейне с водой (рис. 1).

Измерение параметров волны осуществлялось пьезоэлектрическими датчиками из кристаллов турмалина. Сигналы с датчиков через предусилитель подавались на вход осциллографа ОК-17М и процесс изменения давления во времени, воспроизводимый на экране последнего, фотографировался. Для запуска осциллографа использовался датчик с кристаллами из титаната бария, размещаемый на более близких расстояниях от заряда, чем регистрирующие датчики. Масштаб времени задавался генератором ГСС.

В табл. 1 приведены статистические \*\* результаты измерения параметров волн для различных условий взрыва.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы.

За стенку волновода (стальной трубы или фильтра) длиной 1500 мм во всем исследуемом диапазоне расстояний и параметров волновода выходит ударная волна (рис. 2а). Ее параметры максимальны в окрестности взрыва и уменьшаются по длине волновода и в радиальном направлении.

Внутри волновода распространяется взрывная волна (рис. 2б). Многократные отражения волны от стенки волновода, взаимодействие отраженных волн друг с другом и продуктами детонации формируют своеобразную взрывную волну с пологим нарастанием и спадом давления.

\* Измерение осуществлялось креперными приборами, причем ошибки в измерении могли быть лишь в сторону уменьшения фактического давления.

\*\* Разброс в измеряемых величинах лежит в пределе 3 ÷ 6%.

Таблица 1

Заряд	Параметры трубы		Расположение датчиков относительно заряда												
			в трубе						за трубой						
			$l = 500$ мм			$l = 750$ мм			$l = 0$			$l = 500$ мм			
			$P$ , кг/см <sup>2</sup>	$I \cdot 10^3$ , кг·сек/см <sup>2</sup>	$E$ , кг·см/см <sup>2</sup>	$P$	$I \cdot 10^3$	$E$	$P$	$I \cdot 10^3$	$E$	$P$	$I \cdot 10^3$	$E$	
ЭД-8	114	4	0	410	39	63	360	5,5	40	140	2,7	1,5	60	4,3	0,35
ЭД-8	114	8	0	750	47	140	290	4,2	5	105	2,4	0,8	53	1,1	0,2
ЭД-8	220	8	0	—	27	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ДШ-1,5 м	114	8	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ЭД-8	120	12	35	400 (100)*	2,3 (1,8)*	0,75 (0,55)*	280	6,1	6,3	90 (400)*	1,8 (1,8)*	0,5 (0,55)*	96	2,3	0,7
ДШ-1,5 м	120	12	35	—	—	—	570 (900)*	18 (20)*	28 (80)*	—	—	—	—	—	—

\* При взрыве в свободной воде.

Увеличение толщины стенок стального волновода диаметром 114 мм с 4 до 8 мм при взрыве в нем электродетонатора ЭД-8 (1,5 г ТНТ) приводит к тому, что в распространяющейся внутри волновода волне в точке замера давление возрастало в 1,8 раза, удельный импульс в 1,25 раза, удельная энергия в 2 раза. Соответственно в обратной зависимости на соответствующих расстояниях находятся параметры волны, выходящей в затрубное пространство.

Для сравнения в табл. 1 приведены значения параметров волны при взрыве ЭД-8 в свободной воде (отмечены звездочкой). Из них следует, что на расстоянии 500 мм внутри волновода  $d = 114$  мм,  $\delta = 8,0$  мм давление, импульс и энергия волны соответственно в 7,5, 28 и 270 раз больше, чем аналогичные параметры при взрыве ЭД-8 в свободной воде на этом расстоянии.

Увеличение диаметра волновода при неизменной толщине стенки приводит к уменьшению параметров волны, распространяющейся по жидкости внутри волновода. Сравнивая параметры волны в волноводах с толщиной стенки 8 мм, но разных диаметров: 220 и 114 мм, можно констатировать, что давление в волне в волноводе большего диаметра уменьшается в 3 раза, удельный импульс в 1,7 раза, удельная энергия в 5 раз, что следует объяснить увеличением поперечного сечения волновода и уменьшением жесткости волновода ( $d/\delta$ ).

Наличие перфорационных отверстий приводит к снижению параметров волны внутри волновода. Труба со скважностью, превышающей 35—40%, становится практически «прозрачной» для волны. Таким же свойством «пропускать» волну обладают и сплошные полиэтиленовые трубы. Параметры волны внутри и вне полиэтиленовых волноводов диаметра

108 мм, с толщиной стенки  $6 \div 15$  мм оказались соизмеримыми с параметрами ударной волны, распространяющейся в свободной воде.

Исследование параметров волны, распространяющейся по волноводу, при взрыве удлиненных зарядов ( $L = 1 \div 5$  м ДШВ \*) проводилось в

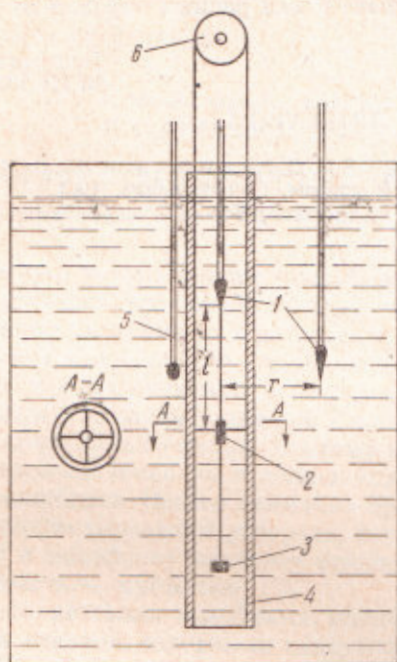


Рис. 1

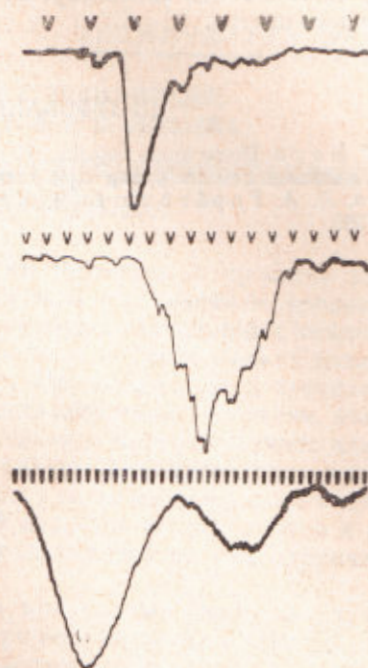


Рис. 2

Рис. 1. Схема размещения датчиков и заряда в.в. для замера давления в волноводах. 1 — регистрирующий датчик, 2 — заряд в.в., 3 — груз, 4 — труба (волновод), 5 — запускающий датчик, 6 — лебедка

Рис. 2. Оциллограммы, характеризующие изменение давления в функции времени для различных условий взрыва. Сверху вниз: а — датчик за трубой  $d = 114$  мм,  $\delta = 8$  мм, заряд ЭД-8; б — датчик в трубе  $d = 114$  мм  $\delta = 8$  мм, расстояние от датчика до заряда 500 мм; в — датчик в трубе  $d = 152$  мм,  $\delta = 7$  мм, заряд ДШВ — 5 м, расстояние от датчика до заряда 25 м

скважине глубиной 200 м, заполненной водой и обсаженной 6" колонной с толщиной стенки 8 мм.

Регистрирующие датчики устанавливались у устья скважины. Заряды из ДШВ располагались по ее оси на различных расстояниях от датчиков ( $l = 5 \div 90$  м). Во всем исследуемом диапазоне весов зарядов и расстояний датчики фиксировали волну симметричного профиля с пологим нарастанием давления до максимального значения и последующим пологим спадом (рис. 2в). Изменения параметров волны, распространяющейся в жидкости внутри волновода, в рассматриваемом случае могут быть описаны следующими зависимостями:

$$P = 1150 \frac{L^{0.2}}{l^{0.57}}, \quad (1)$$

$$I = 0,16 \sqrt[3]{L/l}, \quad (2)$$

$$E = 570 \frac{L^{0.5}}{l^{0.8}}. \quad (3)$$

\* 1 метр детонирующего шнура ДШВ содержит 13 г ТЭНа.

Здесь выражены:  $P$  в  $\text{кг}/\text{см}^2$ ,  $I$  в  $\text{кг}\cdot\text{сек}/\text{см}^2$ ,  $E$  в  $\text{кг}\cdot\text{см}/\text{см}^2$ ,  $L$ ,  $l$  в метрах.

Полученные в результате исследований эмпирические зависимости позволяют оценивать порядок параметров волны, распространяющейся в жидкости, заполняющей скважину, при взрыве в ней разных зарядов из детонирующего шнура.

Поступило  
10 III 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Р. Коул, Подводные взрывы, ИЛ, 1950. <sup>2</sup> Б. В. Замышляев, Ю. С. Яковлев, Динамические нагрузки при подводном взрыве, Судостроение, 1967. <sup>3</sup> С. А. Ловля, Л. А. Горбенко, Б. Ч. Каплан, Торпедирование и перфорация скважин, 1959.