

## НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПОДЪЕМА КУПОЛА ВОДЫ ПРИ ПОДВОДНОМ ВЗРЫВЕ СФЕРИЧЕСКОГО И ШНУРОВОГО ЗАРЯДОВ

А. А. Бузуков, В. С. Тесленко  
(Новосибирск)

Приводятся результаты измерения начальной скорости подъема купола воды при подводном взрыве сферических зарядов сплава тротила с гексогеном (50/50%) и нитей промышленного детонирующего шнура.

Известно [1], что при относительно небольших заглублениях, составляющих 7—9 линейных размеров заряда, продукты детонации, находящиеся под большим давлением, прорываются в атмосферу и разрушают начинающийся формироваться купол, разбрасывая воду в сторону. Если глубина погружения заряда в 150—200 раз превышает его радиус, купол воды вообще не образуется, так как растягивающие напряжения в волне разрежения, возникающей при отражении слабой ударной волны от свободной поверхности, оказываются недостаточными для нарушения сплошности воды. Этими обстоятельствами определен диапазон относительных заглублений сферических и шнуровых зарядов в описываемой серии экспериментов.

Сферические заряды ТГ-50/50 весом от 7 до 205 г подвешивались на растяжках на глубинах от 0,2 до 0,8 м, что соответствовало значениям приведенного заглубления  $H_1$  от 0,3 до 1,9. Нити промышленного детонирующего шнура, имеющие паспортный вес тэна 12 г/м для ДШ-А и 13 г/м для ДШ-В [2], натягивались в горизонтальном положении на кронштейнах на глубинах от 0,06 до 0,22 м, что соответствовало приведенному заглублению  $H_2$  от 0,05 до 0,008. Здесь  $H_1 = R_1/Q^{1/2}$ , где  $R_1$  — заглубление заряда, отсчитываемое от его центра (м),  $Q$  — вес заряда ВВ (кг), а  $H_2 = R_2/q^{1/3}$ , где  $R_2$  — глубина погружения нити ДШ (м),  $q$  — удельная энергия ВВ в ДШ (ккал/м). Размерности величин здесь и ниже выбраны в соответствии с общепринятыми.

Экспериментальные взрывы сферических зарядов ТГ-50/50 весом до 10 г и детонирующего шнура производились в лабораторном взрывном бассейне, имевшем рабочий объем около 6 м<sup>3</sup>. Поэтому влиянием отраженной от стенок ударной волны на начальную стадию развития купола воды можно пренебречь. Взрывы более крупных зарядов ВВ производились в открытом водоеме. Для того чтобы исключить влияние дна водоема на развитие купола воды, место проведения взрывов было выбрано там, где глубина водоема превышает 3 м.

Иницирование зарядов осуществлялось с помощью стандартных электродетонаторов ЭД-8-Э. Для исключения концевое эффекта и влияния капсуля-детонатора на развитие поверхностных явлений в случае взрыва шнуровых зарядов длина отрезков ДШ не менее чем в 5 раз превышала величину заглубления, а регистрация подъема гребня воды над ДШ проводилась по срединной его части. Для осуществления сферически симметричного характера развития взрыва сферических зарядов ВВ в верхнем полупространстве электродетонатор вводился в заряд снизу в специальную выемку, на дне которой, в центре заряда, помещалась иницирующая навеска гексогена весом 0,3—0,4 г.

Наблюдение над подъемом купола воды велось с помощью скоростных кинокамер ЗЛ-1 и СКС-1М, позволявших производить киносъемку процесса со скоростью до 3000 кадр/сек. Для уменьшения размытия изображения на пленках время экспозиции каждого кадра с помощью щелевой диафрагмы было уменьшено до 100 мксек. Обработка экспериментальных данных заключалась в измерении высоты подъема верхней части купола воды во времени, нахождении скорости подъема его верхней точки путем графического дифференцирования полученной зависимости и экстраполяции величины скорости в начальный момент времени (в момент выхода ударной волны на поверхность воды). Суммарная погрешность измерений, вносимая неточностью установки зарядов ВВ, неточностью промера высоты купола воды, неравномерностью протяжки пленки и пр., не превышает 7%.

На рис. 1 представлены экспериментальные значения начальной скорости подъема купола воды  $u_1$  при взрыве сферических зарядов ТГ-50/50 в зависимости от приведенного заглубления  $H_1$ , а на рис. 2 — значения начальной скорости подъема купола воды  $u_2$  при взрыве детонирующего шнура в зависимости от приведенного заглубления  $H_2$ . Из приведенных данных следует, что и в том и в другом случае измеренные значения начальной скорости подъема купола воды свидетельствуют о хорошо выполняющемся энергетическом подобии явления [3]. Причем эксперименты по взрыву нитей ДШ-А со снятыми двумя внешними оплетками показывают, что наличие оплетки не оказывает заметного влияния на начальную стадию развития купола. Полученные дан-

ные в исследованном диапазоне приведенных заглублений подчиняются эмпирическим зависимостям:

$$u_1 = 70 (H_1)^{-1,09} \text{ при } 1,9 \geq H_1 \geq 0,3, \quad (1)$$

$$u_2 = 5,1 (H_2)^{-0,71} \text{ при } 0,05 \geq H_2 \geq 0,008. \quad (2)$$

На графиках сплошной линией отображена зависимость начальной скорости подъема купола воды, полученная расчетным путем. Известно [1], что начальная скорость движения поверхностных слоев воды при подводном взрыве может быть подсчитана по формуле

$$u = \frac{2 p \cos \alpha - \sigma}{\rho c}, \quad (3)$$

где  $p$  — давление на фронте ударной волны в месте выхода ее на поверхность воды;  $\alpha$  — угол подхода волны к свободной поверхности воды;  $\rho c$  — акустическое сопротивление воды;  $\sigma$  — растягивающее напряжение, необходимое для разрыва сплошности воды.

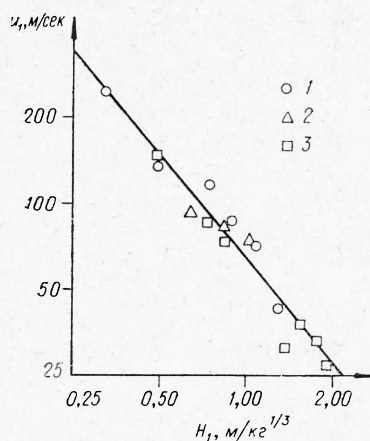


Рис. 1. Зависимость начальной скорости подъема вершины купола воды  $u_1$  от приведенного заглубления  $H_1$  при подводном взрыве сферических зарядов ТГ-50/50. Вес заряда, г: 1—205; 2—69; 3—7.

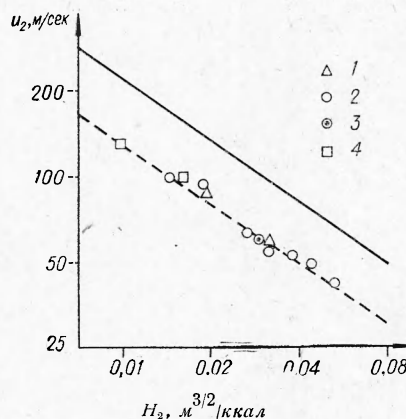


Рис. 2. Зависимость начальной скорости подъема гребня купола воды  $u_2$  от приведенного заглубления  $H_2$  при подводном взрыве промышленного детонирующего шнура.

1 — одинарная нить ДШ-А; 2 — одинарная нить ДШ-В; 3 — двойная нить ДШ-В; 4 — одинарная нить ДШ-А со снятыми двумя внешними оплетками.

Для расчета давления на фронте ударной волны используются зависимости [1, 4]:

$$p_1 = 545 (H_1)^{-1,09}; \quad (4)$$

$$p_2 = 65,5 (H_2)^{-0,71}. \quad (5)$$

В расчете принято, что угол  $\alpha$  определяется отношением скорости детонации ДШ, составляющей 6500 м/сек, к скорости распространения ударной волны в воде, которая в исследуемом диапазоне расстояний не превышает 1800 м/сек (для сферических зарядов  $\alpha=0$ ). Величина разрывающего напряжения  $\sigma$  для технической воды определена экспериментально [1] и, как принято считать, не превышает 80 кг/см<sup>2</sup>. Поэтому расчет по (3)—(5), проведенный с учетом указанных выше значений  $\alpha$  и  $\sigma$ , дает  $u_1$  и  $u_2$  по нижнему пределу.

Как следует из проведенных экспериментов, в случае подводного взрыва сферических зарядов ВВ наблюдается хорошее соответствие расчетных и опытных данных по начальной скорости подъема купола воды. Однако в случае подводного взрыва детонирующего шнура экспериментальные значения скорости оказываются в 1,6 раза меньше расчетных. Следует заметить, что контрольные пьезоэлектрические измерения давления на фронте ударной волны при параллельных подводных взрывах сферических зарядов ТГ-50/50 весом 7 г и нитей детонирующего шнура подтверждают справедливость указанных выше эмпирических зависимостей (4) и (5).

Можно предположить, что столь заметное расхождение результатов расчета и значений начальной скорости, определенных экспериментально при взрыве шнурового заряда, связано с характером спада давления за фронтом ударной волны, так как образование зоны кавитации за отраженной от свободной поверхности волной разрежения происходит сложным образом и зависит от формы эпюры давления в этой зоне и от кривизны падающего ударного фронта. Однако имеющиеся в настоящее время данные не позволяют однозначно ответить на вопрос о причине расхождения результатов расчета по акустической схеме и опытных данных.

*Поступила в редакцию  
17/III 1969*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Степанов, П. М. Сипилин и др. Гидровзрывная штамповка элементов судовых конструкций. Л., «Судостроение», 1966.
  2. Б. Я. Светлов, Н. Е. Яременко. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. М., «Недра», 1966.
  3. Р. Коул. Подводные взрывы. М., ИЛ, 1959.
  4. Б. Д. Христофоров, Э. А. Широкова. ПМТФ, 1962, 5.
-