

цилиндрических ампулах с внутренним диаметром $D_0 = 5$ мм и толщиной стенки $\Delta_0 = 2.5$ мм. Плотность монокристалла $\rho_{00} = 2.165$ г/см³, $\sigma_0 = \rho_{\max}/\rho_{00}$; степень сжатия σ фиксировалась медными индикаторами; σ_0 — степень сжатия, пересчитанная на плотность монокристалла, и $\delta_* = 0$; $T_0 = 300^\circ$ К, p и T вычислены с точностью до второго значащего числа.

Так как для NaCl известна ударная адиабата⁷ [4-6], то осредненное по сечению максимальное давление определяется по максимальной степени сжатия.

Температура оценивалась по известной формуле [7]

$$T \approx T_0 \sigma^2$$

Степень пористости засыпки проявляется при этом нормальным образом, т. е. с увеличением пористости температура в период ударного сжатия повышается [8].

Поступила 22 III 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Бацанов С. С., Дерибас А. А. Действие взрыва на вещество. Структурные изменения окиси неодима. Научно-технические проблемы горения и взрыва, 1965, т. 1, стр. 103.
2. Бацанов С. С., Дерибас А. А., Кутюлин С. А. Действие взрыва на вещество. Термодинамика ударного сжатия порошков. Научно-техн. пробл. горения и взрыва, 1965, т. 2, стр. 52.
3. Гольдсмит В. Удар. М, Стройиздат, 1965.
4. Альтшулер Л. В., Кулешова Л. В., Павловский М. Н. Динамическая сжимаемость, уравнение состояния и электропроводность хлористого натрия высоких давлениях. Ж. эксперим. и техн. физ., 1960, т. 39, № 1, стр. 16.
5. Кормер С. Б., Синицын М. В., Фунтиков А. И., Урлин В. Д., Блинов А. В. Исследование сжимаемости пяти ионных соединений до давления 5 Мбар. Ж. эксперим. и теор. физ., 1964, т. 47, № 4, стр. 1202.
6. Альтшулер Л. В., Павловский М. В., Кулешова Л. В., Симанов Г. В. Исследование галогенидов щелочных металлов при высоких давлениях и температурах ударного сжатия. Физ. твердого тела, 1963, т. 5, стр. 279.
7. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных исследований, Физматгиз, 1963.
8. Альтшулер Л. В. Применение ударных волн в физике высоких давлений. Успехи физ. наук, 1965, т. 85, № 2, стр. 197.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ВОДЫ НА РАЗРЫВ

Т. П. Гавриленко, М. Е. Топчиян

(Новосибирск)

В работе изложены результаты экспериментальных исследований прочности воды на разрыв при динамическом нагружении в отсутствие свободной поверхности.

В работах [1,2] приведены результаты исследований прочности воды на разрыв при статическом нагружении. Подавляющее большинство авторов называют цифры порядка 10 атм, как, например, в работах [1]. В работе [3] приведены гораздо более высокие величины (около 280 атм), полученные в капиллярной трубке. Такой высокий результат, по-видимому, связан с самой методикой эксперимента: опыты проводились в капиллярной трубке, а влияние поверхностного натяжения при образовании границы раздела не учитывалось.

Следует отметить, что в этих работах исследовалась прочность очищенной дегазированной воды. В обычной воде содержатся пузырьки газа, диаметр которых порядка 0.01 мм [2], при статическом нагружении разрыв наступает при давлении, равном давлению насыщающих паров при температуре эксперимента.

Если о статическом нагружении в литературе данные имеются, то вопрос о динамической прочности воды исследован мало.

Обычно исследования кавитационных явлений проводятся оптическими методами, возникновение разрыва сплошности среды регистрируется либо непосредственным фотографированием, либо по изменению показателя преломления среды. В описываемых опытах выбор метода определялся следующими соображениями. Воздействие разрывов сплошности на среду и объекты, помещенные в ней, а также на сам профиль проходящей волны проявляется прежде всего в изменении давления. Важную роль при этом играет частота пульсаций давления. Если пузырек, образующийся при нагружении воды, за период пульсации остается достаточно малым, то его воздействие на среду будет малозаметным. Однако установить этот малый критический размер довольно трудно, хотя это совершенно необходимо при оптических исследованиях.

В данных опытах для установления факта возникновения кавитации использовался метод измерения давления в жидкости. Преимущества его очевидны: во-первых, этот метод не связан с определением критического размера пузырей, а основывается на регистрации их воздействия на среду; во-вторых, этот метод дает возможность непосредственно измерить величину отрицательного давления, при котором кавитация возникает, и время, в течение которого оно достигается.

Установка для исследования прочности воды на разрыв состояла из двух вертикальных цилиндров (фиг. 1), верхний 1 из которых заполняется водой. В цилиндрах размещены два поршня 2, 3, связанные штоком 4. Дно нижнего цилиндра закрыто мембраной 5. При подаче воздуха в магистраль 6 происходит повышение давления как над мембраной, так и в пространстве над поршнем 3.

По достижении определенного давления мембрана разрывается, и нижний поршень под действием сжатого воздуха, находящегося в надпоршневом пространстве, начинает двигаться вниз, увлекая за собой верхний поршень, который растягивает воду в верхнем цилиндре. Для обеспечения постоянства давления, движущего систему, надпоршневое пространство сообщается с ресивером 7, объем которого примерно в 200 раз превышает объем надпоршневого пространства.

На торце верхнего цилиндра расположен датчик 8 из пьезокерамики ЦТС, регистрирующий при помощи усилителя и осциллографа изменения давления в воде. В нижней части воздушного цилиндра расположен датчик 9, запускающий осциллограф в момент разрыва мембраны.

Ускорение движения поршня на этой установке достигало 170 g.

Уравнение движения поршня имеет вид

$$x'' = \frac{pS}{m} - \frac{\rho c S_0}{m} x. \quad (1)$$

Здесь m — масса поршней со штоком, p — давление, приводящее систему в движение, S — площадь нижнего, а S_0 — площадь верхнего поршня, ρ — плотность воды, c — скорость звука в воде. Силой трения пренебрегаем.

Начальные условия при $t = 0$

$$x(0) = 0, \quad x'(0) = 0$$

Решение уравнения (1) при этих условиях имеет вид

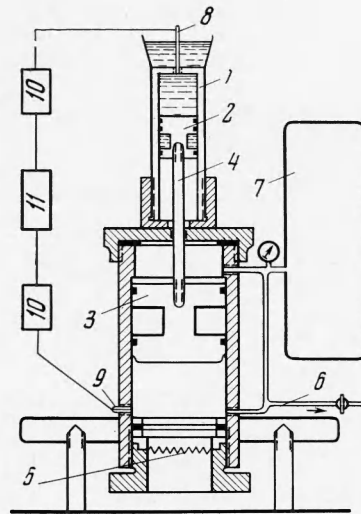
$$x = \frac{\alpha}{\beta} \left[t + \frac{1}{\beta} (e^{-\beta t} - 1) \right]$$

$$\left(\alpha = \frac{pS}{m}, \quad \beta = \frac{\rho c S_0}{m} \right)$$

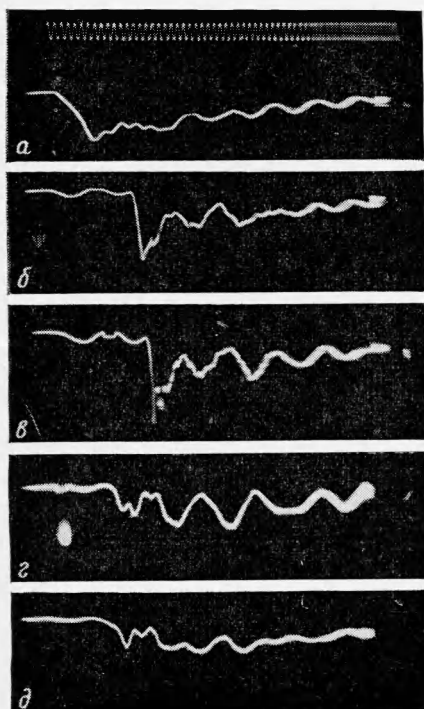
При таком движении поршня вверх по воде пойдет волна разрежения. Давление на верхнем торце цилиндра с учетом отражения волны от стенки будет описываться в начальный период времени формулой

$$p_t = p_0 - 2\rho c \frac{\alpha}{\beta} (1 - e^{-\beta t})$$

В силу имеющегося закона движения поршень не может быть источником волн сжа-



Фиг. 1



Фиг. 2

тия в течение всего отрезка времени до столкновения с опорой, которое в описываемых опытах составляло величину около $6 \cdot 10^{-2}$.

Под действием движущегося поршня вода растягивается, датчик регистрирует нарастание отрицательного давления. В момент разрыва воды отрицательные напряжения исчезают. Датчик фиксирует этот момент подъемом кривой на осциллограмме давления. После разрыва воды, вследствие беспорядочного колебания пузырей, изменения давления имеют хаотический характер (фиг. 2, а, б, в).

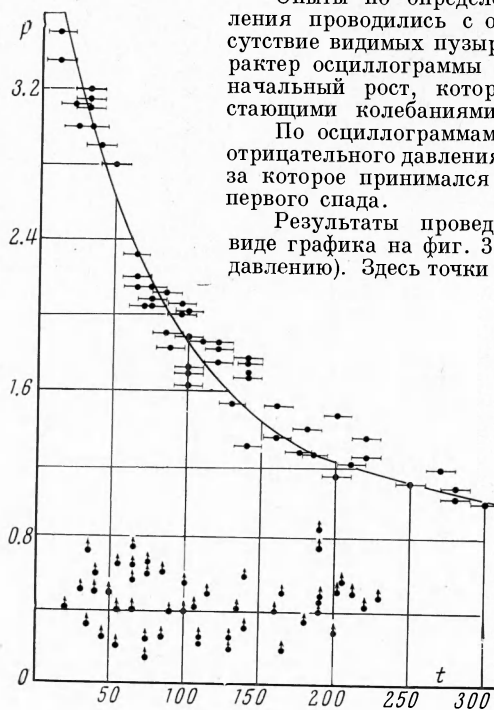
Опыты по определению предельного отрицательного давления проводились с обыкновенной водопроводной водой в отсутствие видимых пузырей. При наличии видимых пузырей характер осциллограммы резко менялся, пропадал характерный начальный рост, который заменялся беспорядочными нарастающими колебаниями (фиг. 2, г, д). Метки времени 50 кгц.

По осциллограммам измерялась величина максимального отрицательного давления p_* (атм) и время нагружения t (мксек), за которое принимался отрезок от начала подъема давления до первого спада.

Результаты проведенных экспериментов представлены в виде графика на фиг. 3 (где нуль соответствует атмосферному давлению). Здесь точки выше нулевой линии, соответствующей вакууму, получены при отсутствии видимых пузырей, точки ниже нулевой линии — при наличии видимых газовых включений. Горизонтальными отрезками указана погрешность определения времени по осциллограмме. Погрешность определения давления составляет 5% при минимальной амплитуде.

Как видно из приведенного на фиг. 3 графика, обычная вода без обезгаживания и дистилляции может выдерживать при динамическом нагружении отрицательные давления около 2.5 атм при времени воздействия порядка 20—30 мксек. С увеличением времени воздействия прочность уменьшается, достигая 0.5 атм при 150 мксек, и затем спадает практически до статической при временах порядка 300—500 мксек.

При выбранных размерах и ускорениях разрыв воды происходил в области верхнего торца рабочего цилиндра при отражении от него волны разрежения.



Фиг. 3

Институт гидродинамики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила 17 I 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Temperley H. N. V., Chambers L. S. Behavior of water under hydrostatic tension. Proc. Phys. Soc., 1946, vol. 58, p. 420—443.
2. Биркгоф Г., Сарантонелло Э. Струи, следы и каверны. Изд. «Мир», 1964.
3. Briggs I. Limiting Negative Pressure of Water. J. Appl. Phys., 1950, vol. 21, p. 721.