

УДК 534.8.081.7

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ В ВОДЕ
ПО ИХ РАЗМЕРАМ

Л. Р. Гаврилов

На основании результатов измерения затухания звука, вносимого газовыми пузырьками, находится функция их распределения по размерам в длительно отстаившейся и водопроводной воде.

Прямые эксперименты, направленные на определение функции распределения по размерам стабильных газовых пузырьков в длительно отстаившейся воде, трудно осуществимы. Однако приближенные оценки такой функции распределения можно получить косвенным путем, например, из результатов измерения затухания звуковой энергии, вносимого пузырьками.

Известно, что коэффициент затухания звука в пелене пузырьков различных размеров определяется выражением [1]

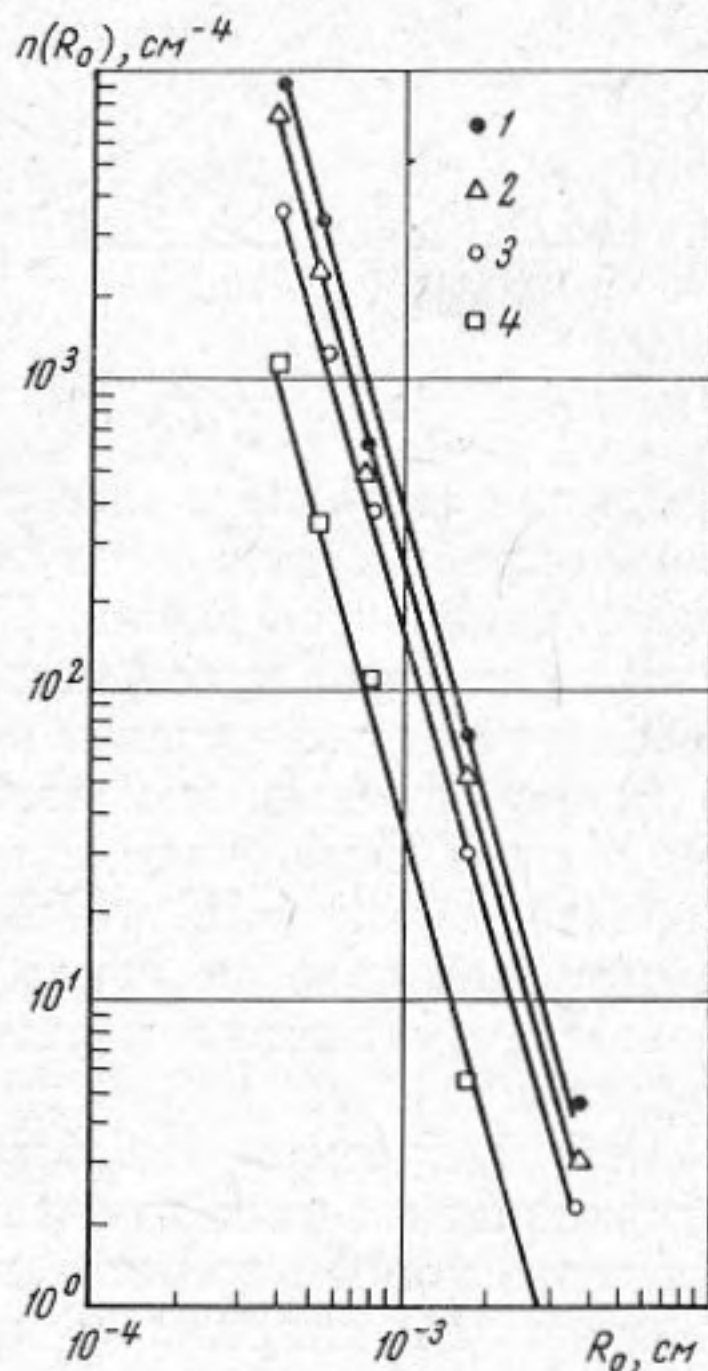
$$K_e = 1,5 \cdot 10^5 U(R_0) = 6,3 \cdot 10^5 n(R_0) R_0^3, \quad (1)$$

где K_e — коэффициент затухания в дб/м ; $U(R_0)$ и $n(R_0)$ — плотности распределения объема и числа пузырьков в 1 см^3 воды; R_0 — резонансный радиус пузырька для данной частоты звука.

Значения коэффициента затухания звука, обусловленного наличием пузырьков, определялись нами в водопроводной воде, подвергнутой длительно отстаиванию. Использовался реверберационный метод измерения поглощения звука в жидкостях; исследованному диапазону частот $100 \div 940 \text{ кгц}$ соответствовал интервал радиусов резонансных пузырьков от 4 до 34 мк . Результаты измерений K_e удовлетворительно согласуются с полученными в работах [2, 3].

На фиг. 1 представлены вычисленные по экспериментально найденным величинам K_e плотности распределения пузырьков по размерам $n(R_0)$ в водопроводной воде; параметр — время отстаивания воды (1 — 25 мин, 2 — 1 час, 3 — 3 час, 4 — 5 час). Из графика следует, что в исследованном интервале радиусов пузырьков функция $n(R_0)$ при различном времени отстаивания воды имеет

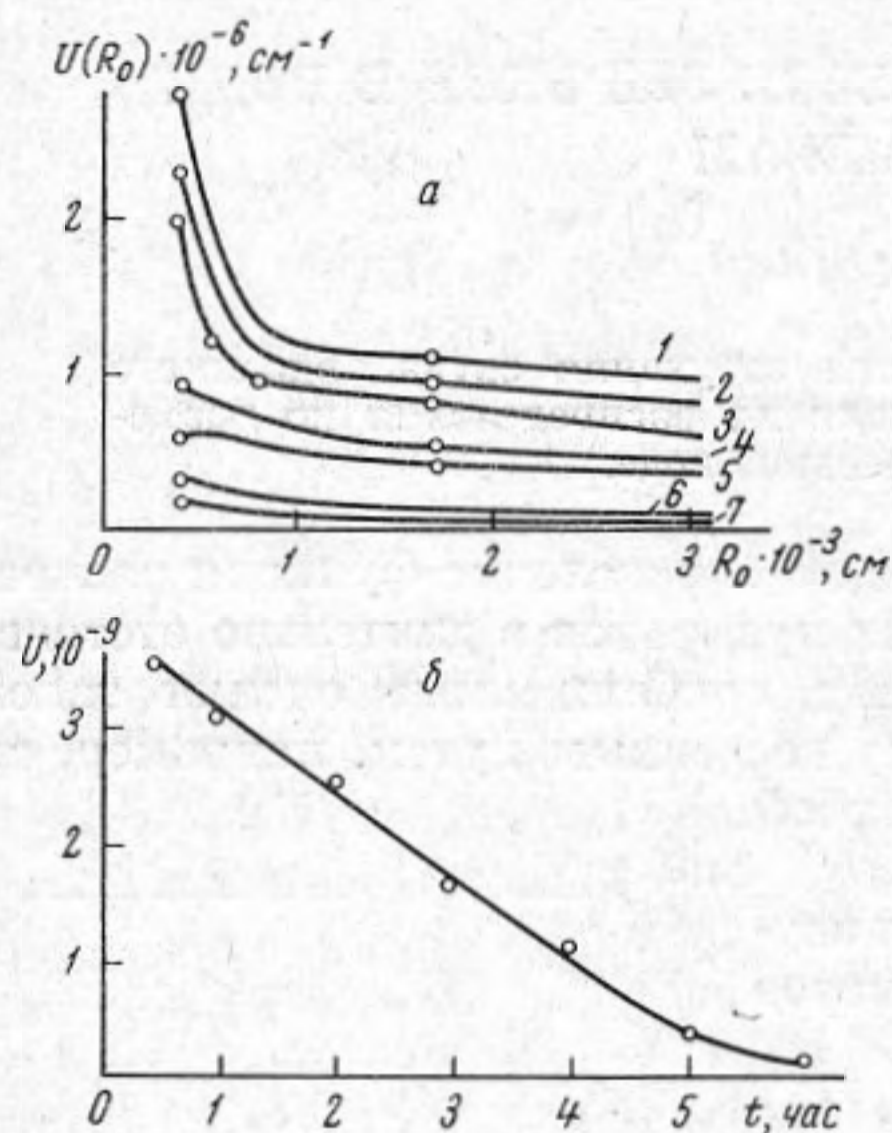
вид, близкий к $n(R_0) \simeq \frac{A(t)}{R^{3,5}}$, где $A(t)$ — коэффициент, зависящий от времени отстаивания воды t .



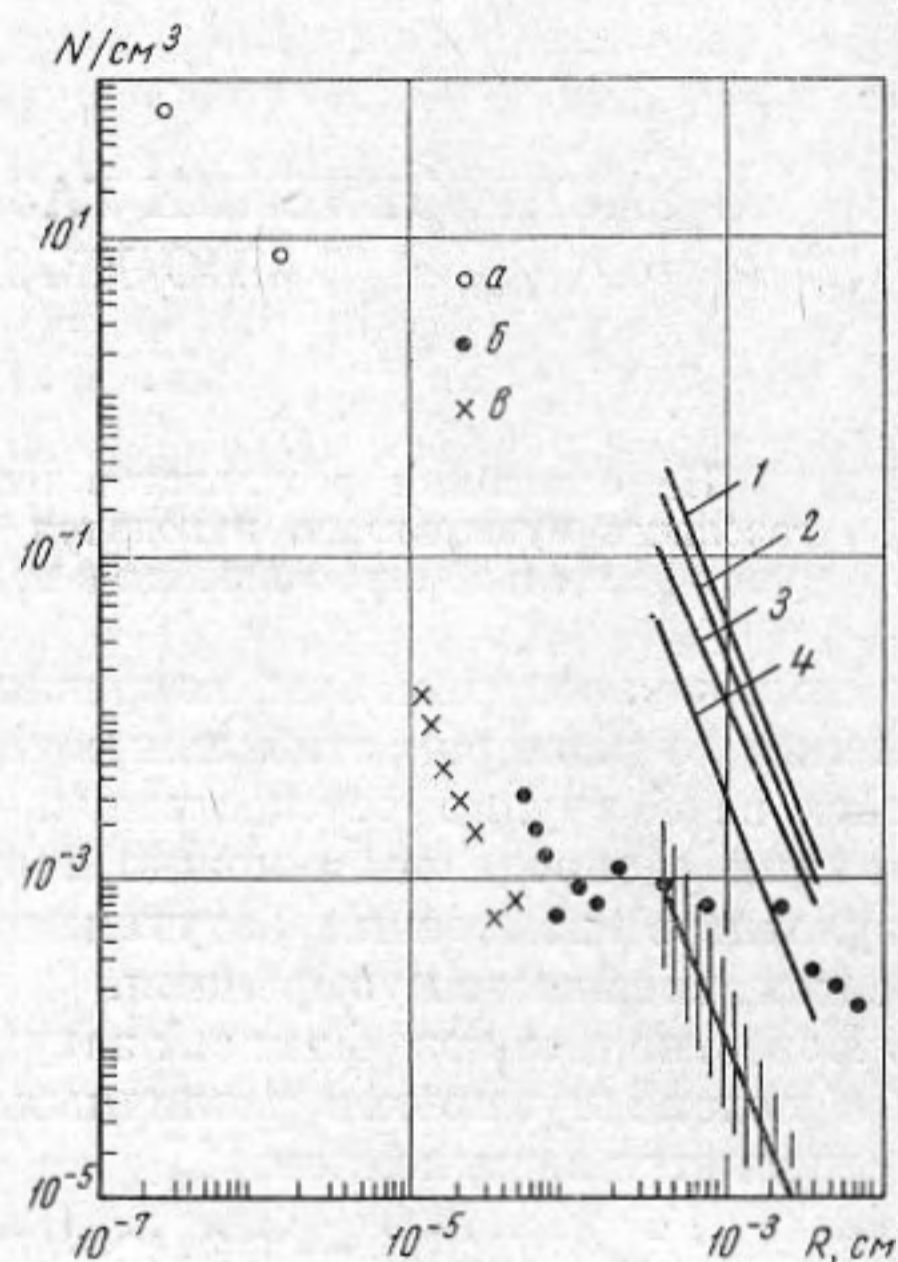
Фиг. 1

На фиг. 2, а показаны плотности распределения объема газовых пузырьков $U(R_0)$ при различном времени отстаивания воды (1 — 25 мин, 2 — 1, 3 — 2, 4 — 3, 5 — 4, 6 — 5, 7 — 6 час). По известным величинам плотностей распределения $U(R_0)$ можно построить зависимость $U = f(t)$

(фиг. 2, б), где $U = \int_{4 \text{ мк}}^{34 \text{ мк}} U(R_0) dR$ — суммарная объемная концентрация пузырьков с радиусами в пределах от 4 до 34 мк. Легко видеть, что кон-



Фиг. 2



Фиг. 3

центрация свободного газа за первые 5—6 час отстаивания воды уменьшается приблизительно на порядок по сравнению с первоначальным значением и становится равной $U \simeq 10^{-10}$. Эта величина лишь незначительно превышает порог чувствительности аппаратуры, и, таким образом, дальнейшие измерения становятся невозможными.

Однако измерения кавитационной прочности аналогичной водопроводной воды, выполненные нами с помощью кольцевого пьезокерамического излучателя, показали, что по прошествии 10—12 час отстаивания воды в ней устанавливается некоторое постоянное содержание свободного газа, после чего величина кавитационной прочности воды практически не изменяется.

Если допустить, что к моменту установления в жидкости постоянного содержания газовых пузырьков, т. е. по прошествии 10—12 час отстаивания воды, концентрация U понизится еще на порядок по сравнению с величиной, найденной нами при $t \simeq 6$ час, то с точностью до порядка объемная концентрация стабильных газовых пузырьков будет $U \simeq 10^{-11}$. Тогда

из соотношения $\int_{4 \text{ мк}}^{34 \text{ мк}} \frac{4}{3} \pi R^3 \frac{A_\infty}{R^{3,5}} dR \simeq 10^{-11}$, где A_∞ — значение коэффици-

ента $A(t)$ для длительно отстоявшейся жидкости, легко получить, что с точностью до порядка $A_\infty \simeq 3 \cdot 10^{-11}$ и, следовательно, плотность распределения стабильных пузырьков в длительно отстоявшейся воде будет определяться функцией вида

$$n(R) \simeq \frac{A_\infty}{R^{3,5}} \simeq \frac{3 \cdot 10^{-11}}{R^{3,5}}. \quad (2)$$

Представляет интерес сравнить этот результат с найденным Сиротюком [4] распределением кавитационных зародышей в отстоявшейся дистиллированной воде. На фиг. 3 показано количество N кавитационных зародышей в единице объема воды, вычисленное в работе [4] по данным собственных измерений кавитационной прочности дистиллированной воды (а) и по результатам работы [5] (б и в). Прямой, пересекаемой вертикальными линиями, изображена полученная нами функция $N = n(R)dR$, где N — число пузырьков с радиусами в интервале от R до $R + dR$ в 1 см^3 воды, $n(R)$ — функция, отвечающая выражению (2); величина dR для удобства сопоставления, как и автором работы [4], принята равной $0,1 R$. Вертикальные линии характеризуют разброс значений в пределах одного порядка, обусловленный неточностью определения величины A_∞ .

Из графика видно, что наклон полученной нами функции $N(R)$ приблизительно совпадает с наклоном воображаемой прямой, соединяющей экспериментальные точки, соответствующие диапазону радиусов пузырьков от $3 \cdot 10^{-7}$ до $2 \cdot 10^{-4} \text{ см}$. При этом, как и следовало ожидать, величины $N(R)$ для отстоявшейся водопроводной воды несколько превышают соответственные значения, найденные для дистиллированной воды.

Причины заметного расхождения результатов в области сравнительно больших пузырьков ($R > 4 \cdot 10^{-4} \text{ см}$) остались невыясненными. Возможно, это несоответствие вызвано тем, что величина кавитационной прочности воды, содержащей зародыши столь крупных размеров, мало зависит от радиуса зародышей, поскольку действие сил поверхностного натяжения на пузырек — кавитационный зародыш становится незначительным. При этом неизбежные погрешности в определении кавитационной прочности жидкости могут повлечь за собой существенные ошибки при расчете размера зародыша, на котором возникла кавитация.

В правой части фиг. 3 приведено семейство кривых $N = f(R)$, где R меняется в пределах $4 \div 34 \text{ мк}$. Параметр — время отстаивания водопроводной воды, как и на фиг. 1; величина dR , как и прежде, принята равной $0,1 R$. Кривые дают возможность определить число пузырьков, содержащихся в единице объема водопроводной воды при различном времени ее отстаивания.

В процессе подготовки работы автор пользовался советами покойного профессора Л. Д. Розенберга. Автор благодарит М. Г. Сиротюка за полезные советы при обсуждении данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физические основы подводной акустики. Пер. с англ. под ред. В. И. Мясищева. М., Советское радио, 1955.
2. M. Strasberg. Onset of ultrasonic cavitation in tap water. J. Acoust. Soc. America, 1959, 31, 2, 163—176.
3. K. S. Iyengar, E. G. Richardson. Measurements on the air — nuclei in natural water which give rise to cavitation. Brit. J. Appl. Phys., 1958, 9, 4, 154—158.
4. М. Г. Сиротюк. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации. В кн.: «Физика и техника мощного ультразвука» (под ред. Л. Д. Розенберга), т. II. М., «Наука», 1968.
5. D. Messino, D. Sette, F. Wanderlingh, Statistical approach to ultrasonic cavitation. J. Acoust. Soc. America, 1963, 35, 10, 1575—1583.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступила в редакцию
2 апреля 1968 г.