

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.222:532.528

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО РАДИУСА КАВИТАЦИОННОЙ ПОЛОСТИ В ЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Б. А. Агранат, Ф. А. Броин

Величина R_{\max} при расширении кавитационной полости в звуковом поле в значительной степени определяет эффективность кавитационного воздействия [1]. Она входит во многие расчетные формулы акустической кавитации: времени захлопывания полости, ее минимального радиуса, давления в конечной стадии захлопывания и др. [2]. Весьма важным является определение R_{\max} в зависимости от параметров звукового поля и среды, доступных непосредственному измерению, а также статического давления.

Страсбергом [3] предложена формула для определения величины максимального радиуса в виде

$$R_{\max} = \frac{0,4}{f} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}},$$

где Δp — разность между амплитудным значением давления звукового поля и статическим давлением, ρ — плотность жидкости, f — частота звука.

Как показывает сравнение вычисленных по этой формуле значений R_{\max} с данными, полученными при численном интегрировании на электронно-вычислительных машинах уравнений движения кавитационной полости [4], точность этой формулы невелика и погрешность тем выше, чем больше величина статического давления.

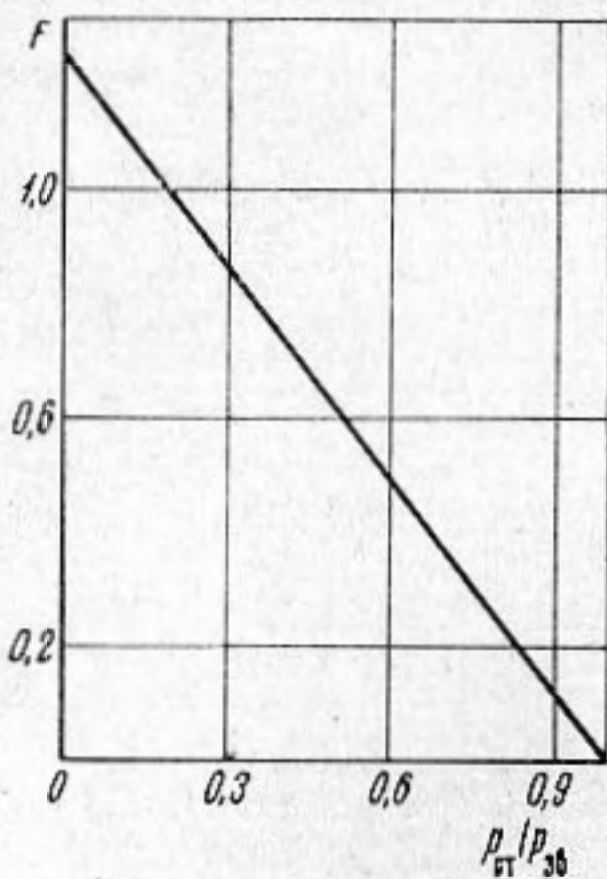
Более точное выражение для определения величины максимального радиуса можно получить, если вместо переменного давления, приложенного к полости в стадии расширения $p(t) = p_{ст} - p_{зв} \sin \omega t$, где $p_{зв}$ — амплитуда звукового давления, а $p_{ст}$ — статическое давление, ввести некоторое постоянное давление $p_{эфф}$, действие которого на полость эквивалентно действию переменного давления.

В этом случае

$$4\pi R^2 p_{эфф} t = mv, \tag{1}$$

где R — радиус полости, t — время, m — присоединенная масса жидкости, v — скорость ее движения. Согласно работе [5]

$$\frac{mv^2}{2} = 2\pi\rho R^3 \left(\frac{dR}{dt}\right)^2. \tag{2}$$



Далее, полагая $v = dR / dt$, мы получаем на основе выражений (1) и (2)

$$\frac{p_{эфф}}{\rho} t = R \frac{dR}{dt}.$$

Интегрируя и полагая, что $R_0 \ll R_{\max}$, имеем

$$R_{\max} = \tau \sqrt{\frac{p_{эфф}}{\rho}}, \tag{3}$$

где τ — интервал времени, в течение которого к полости приложено давление $p_{эфф}$.

Учитывая, что расширение полости под действием внешних сил происходит в течение времени, когда $p(t) \leq 0$, определяем τ из следующего соотношения [6]:

$$\tau = \frac{2}{\omega} \arccos p_{ст}/p_{зв}. \quad (4)$$

Величина $p_{эфф}$, действующая на полость в стадии расширения, вычисляется путем интегрирования функции $p(t)$ в интервале времени τ :

$$p_{эфф} = \frac{2p_{зв}}{\omega\tau} (1 - p_{ст}^2/p_{зв}^2)^{1/2} - p_{ст}. \quad (5)$$

Подставляя выражения (4) и (5) в формулу (3), имеем

$$R_{max} = \frac{F}{\pi f} \sqrt{\frac{p_{зв}}{\rho}}, \quad (6)$$

где F определяется выражением:

$$F = \arccos p_{ст}/p_{зв} \sqrt{\frac{(1 - p_{ст}^2/p_{зв}^2)^{1/2} - p_{ст}}{\arccos p_{ст}/p_{зв} - p_{зв}}}. \quad (7)$$

На фигуре приведены значения F в зависимости от величины $p_{ст}/p_{зв}$. Из графика следует, что функция F близка к линейной. Следовательно, с достаточной степенью точности соотношение (7) можно записать в виде [7]

$$F = 1,25 \left(1 - \frac{p_{ст}}{p_{зв}} \right). \quad (8)$$

Используя соотношения (6) и (8), мы получим окончательную формулу для определения величины максимального радиуса кавитационной полости в звуковом поле

$$R_{max} = \frac{0,4}{f} \left(1 - \frac{p_{ст}}{p_{зв}} \right) \sqrt{\frac{p_{зв}}{\rho}}. \quad (9)$$

Как показала сравнительная оценка значений R_{max} , вычисленных по формуле (9), с данными, полученными с помощью электронно-вычислительных машин, погрешность данного выражения не превышает 3,5% [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Г. Сиротюк. Ультразвуковая кавитация. Акуст. ж., 1962, 8, 3, 255—272.
2. Г. Флини. Физика акустической кавитации в жидкостях. Физическая акустика. Под ред. У. Мэзона. М., Мир, 1967, т. 1, ч. Б, 7—138.
3. M. Strasberg. Onset of ultrasonic cavitation in tap water. J. Acoust. Soc. America, 1959, 31, 2, 163—176.
4. Б. А. Агранат, В. И. Башкиров, Ю. И. Китайгородский. Использование избыточного статического давления для управления процессом ультразвуковой кавитации. Ультразвук. техн., 1966, 1, 1—7.
5. Rayleigh. On pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity. Phil. Mag., 1917, ser. 6, 200, 34, 94—98.
6. Ф. А. Бронин. Исследование кавитационного разрушения и диспергирования твердых тел в ультразвуковом поле высокой интенсивности (канд. диссертация). МИСИС, 1967, 92—96.
7. П. Б. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. Численные методы анализа. М., Физматгиз, 1962, стр. 160.

Институт стали и сплавов
Особое конструкторско-технологическое бюро
Комитета по делам изобретений и открытий
при Совете Министров СССР
Москва

Поступило в редакцию
27 мая 1967 г.