АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXVII 1981 Вып. 3

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.26

О СОПРОТИВЛЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЦИЛИНДРА С АКУСТИЧЕСКИ МЯГКИМИ ТОРЦАМИ

Козырев В. А., Шендеров Е. Л.

В статье [1] был рассмотрен метод расчета акустического поля и импеданса цилиндра конечной высоты при смешанных граничных условиях на его поверхности. Однако почти все численные результаты этой работы относились к случаю цилиндрического излучателя с жесткими торцами.

Рассмотрим теперь излучатель в виде цилиндра радиуса a и полувысотой h, на боковой поверхности которого задано осесимметричное гармоническое во времени распределение нормальной компоненты колебательной скорости [1]. Звуковое давление на торцах цилиндра полагаем равным нулю.

Требуется определить распределение потенциала скоростей или звукового давления на боковой поверхности и распределение скорости на торцах цилиндра и по найденным распределениям определить сопротивление излучения.

Для решения задачи используем интегральное уравнение Гельмгольца для поверхности излучателя в виде (1) из статьи [1] при $\varepsilon=1/2$. Способ разбиения поверхности цилиндра на элементарные участки и особенности сведения интегрального уравнения Гельмгольца к системе линейных алгебраических уравнений показаны в тексте и на фиг. 1 статьи [1].

Граничные условия на торцевой и боковой поверхностях цилиндра напишем в виде

$$\Phi_n=f_\Phi(r_n),\quad n=\overline{1,n_1}, \tag{1}$$

$$v_n=f_v(z_n),\quad n=\overline{n_1+1,N}, \tag{2}$$

где $r_n=(n-0{,}5)\delta r$ – радиальная координата узловой точки на торце цилиндра, $z_n=(N-n+0{,}5)\delta z$ – координата узловой точки на боковой поверхности, δr, δz – шаги разбиений, Φ_n, v_n – соответствующие значения потенциала и скорости в n-й узловой точке, $N=n_1+n_2$, n_1, n_2 – число разбиений на торце и на половине боковой поверхности цилиндра.

Решение системы алгебраических уравнений при граничных условиях (1–2) получим в виде

$$v_1, v_2, \ldots, v_{n_1}, \Phi_{n_1+1}, \ldots, \Phi_N,$$

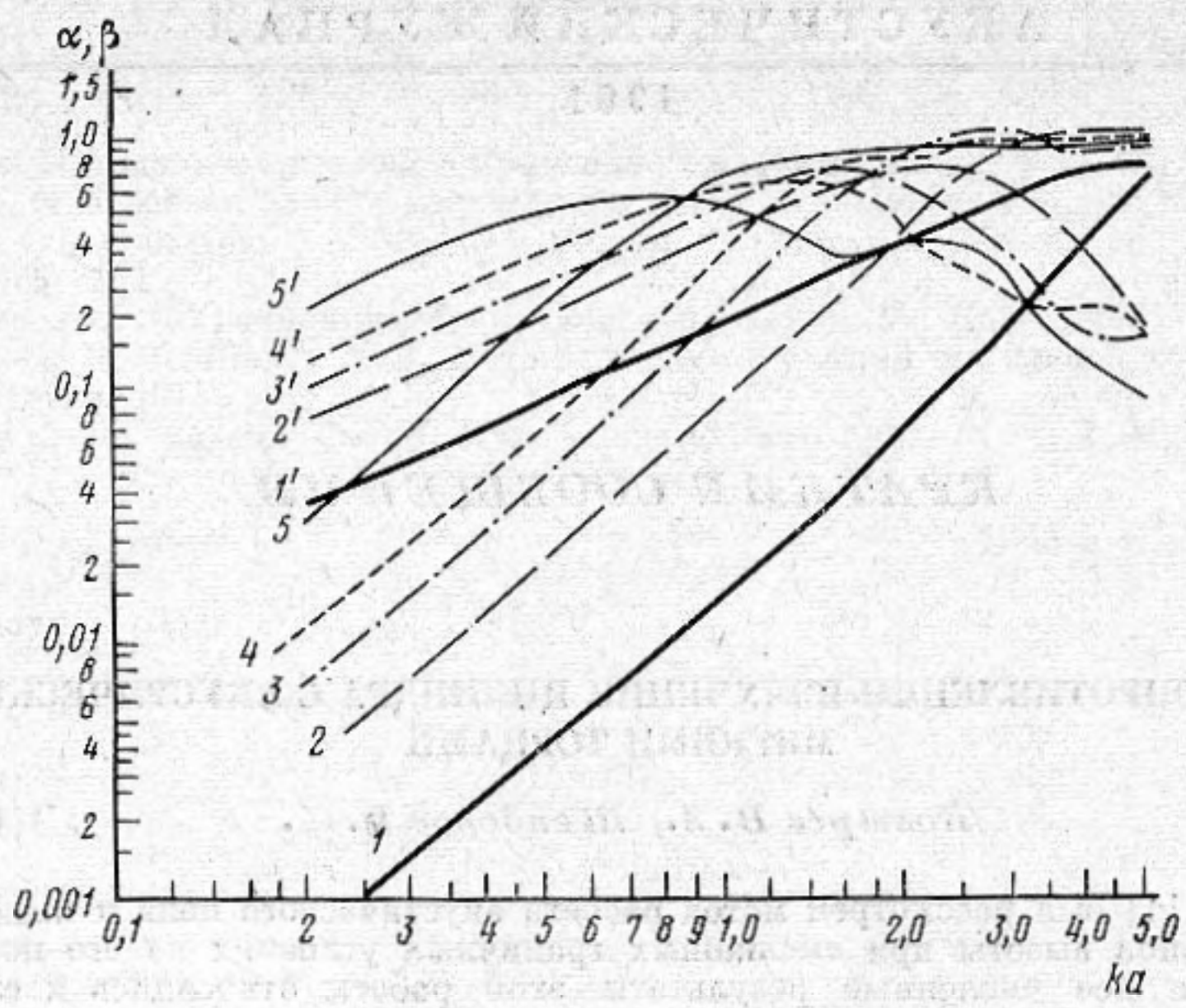
где v_j при $j=\overline{1,n_1}$ – искомые значения скорости на торцах, а Φ_j при $j=\overline{n_1+1,N}$ – искомые значения потенциала на боковой поверхности. По найденным значениям потенциала и скорости определим сопротивление излучения цилиндра в виде $Z_s=\rho c S_Б(\alpha-i\beta)$, где α и β – безразмерные активный и реактивный коэффициенты сопротивления излучения цилиндра, ρ и c – плотность и скорость звука во внешней среде, $S_Б=4\pi ah$ – площадь боковой поверхности цилиндра.

Значения параметров расчета – величины полуосей эллипсов, окружающих особые точки, число разбиений в квадратах Гаусса – выбирались теми же, что и в статье [1]. Число разбиений половины поверхности цилиндра N не превышало 20, соотношение между n_1 и n_2 выбиралось из условия $n_1/n_2\simeq a/h$, что соответствовало максимальной точности.

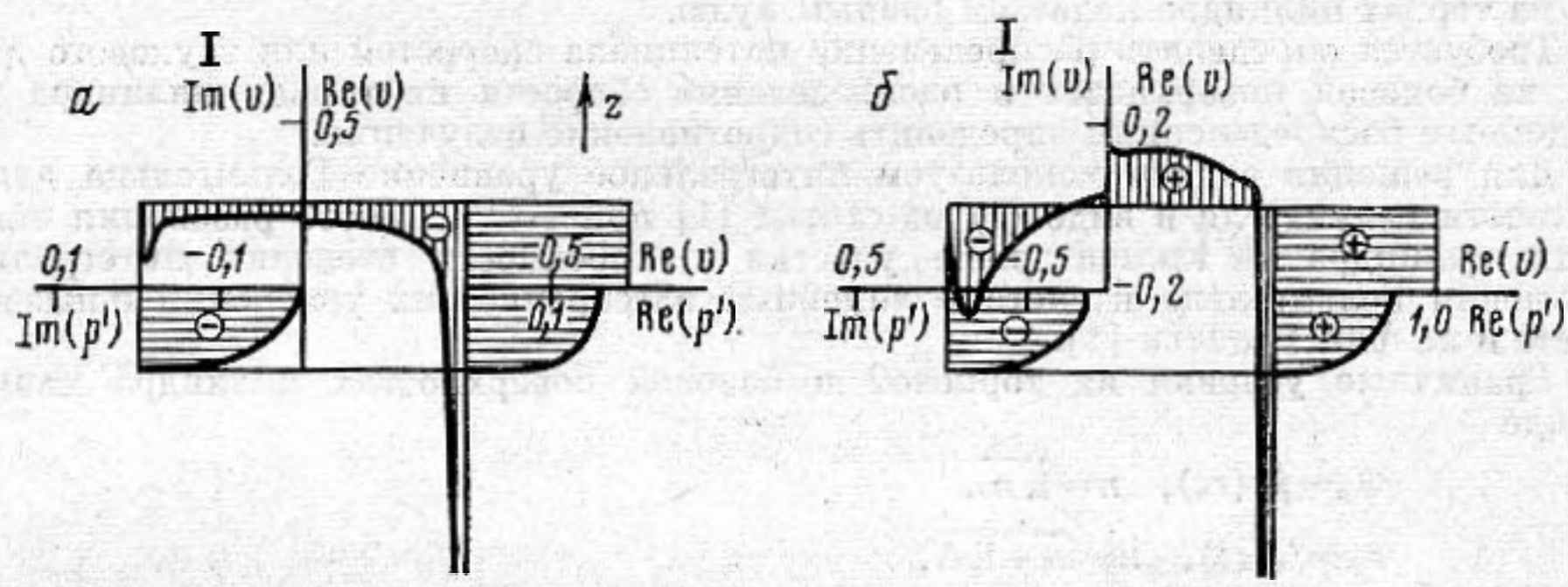
Рассмотрим полученные результаты. Расчет производился для распределений Φ и v, симметричных относительно плоскости $z=0$ и равных $f_\Phi(r_n)=0$, $f_v(z_n)=1$, что соответствовало цилиндру с мягкими торцами с равномерным распределением нормальной скорости на боковой поверхности.

---

[1] В дальнейшем нормальную компоненту колебательной скорости будем называть для краткости просто скоростью.



Фиг. 1. Коэффициенты $\alpha(ka)$ (кривые *1–5*) и $\beta(ka)$ (кривые *1′–5′*) для цилиндров с мягкими торцами. Этим кривым соответствуют значения отношения $h/a=0{,}2$; 0,5; 0,75; 1,0; 2,0



Фиг. 2. Эпюры распределения нормальной компоненты колебательной скорости $v=\mathrm{Re}(v)+i\,\mathrm{Im}\,(v)$ и давления $p'=\mathrm{Re}(p')+i\,\mathrm{Im}\,(p')$ на поверхности цилиндра с мягкими торцами с отношением $h/a=0{,}5$ при $ka=0{,}4$ (*а*) и $ka=2{,}2$ (*б*); $p'=p/\rho c V_0$, V_0 – скорость в центре боковой поверхности. Распределения p и v симметричны относительно плоскости $z=0$, на боковой поверхности $v=V_0=1$, на торцах цилиндра $p=0$

Из сопоставления кривых $\alpha(ka)$ на фиг. 1 с соответствующими кривыми из работы [1] при фиксированном отношении h/a, а также из таблицы следует, что значения α для цилиндра с мягкими торцами при $ka \lesssim 1/(h/a)$ или при $kh<1$ меньше, чем для цилиндра тех же размеров с жесткими торцами. Например, для цилиндра с соотношением $h/a=0{,}2588$ и мягкими торцами коэффициент α остается меньшим коэффициента $\alpha(ka)$ для цилиндра с жесткими торцами вплоть до значения $ka=4$. Резкое уменьшение активной части сопротивления излучения на низких частотах при $ka \ll 1/(h/a)$ объясняется наличием на мягких торцах цилиндра участков с распределением скорости в противофазе по отношению к скорости на боковой поверхности, в результате чего объемная скорость становится близкой к нулю (см. эпюры на фиг. 2).

При использовании в качестве излучателей цилиндрических оболочек, выполненных на основе пьезокерамики типа PZT-5, их радиальный резонанс при радиально-симметричном способе возбуждения соответствует значениям $ka=1{,}7$–$2{,}0$ (см. [3, с. 240, 269]). Следовательно, при работе цилиндрических пьезокерамических излучателей на частоте радиального резонанса и ниже ее использование низких цилиндров при $h/a<0{,}5$ и $kh<1$ с мягкими торцами менее эффективно, чем использование цилиндров тех же размеров, но с жесткими торцами. Меньшее значение $\alpha(ka)$ первых будет означать меньшее значение акустико-механического КПД $\eta_{\text{ам}}$ при тех же механических потерях, так как $\eta_{\text{ам}}=r_s/(r_s+r_{\text{мп}})$, где $r_s=\rho c S_{\text{В}}\alpha(ka)$ – активная часть сопротивления излучения, $r_{\text{мп}}$ – сопротивление механических потерь преобразователя.

Значения коэффициента (d/ka) для пульсирующих цилиндров с мягкими и жесткими торцами при различных отношениях h/a

ka	h/a					
	Мягкие торцы			Жесткие торцы		
	0,2588	0,5	1,0	0,2588	0,5	1,0
0,2	0,00120	0,00355	0,0120	0,0103	0,0194	0,0380
0,4	0,00474	0,0145	0,0515	0,0380	0,0699	0,133
0,6	0,0105	0,0328	0,121	0,0756	0,135	0,247
0,8	0,0185	0,0592	0,218	0,115	0,199	0,356
1,0	0,0287	0,0934	0,360	0,149	0,254	0,454
1,2	0,0413	0,144	0,532	0,174	0,297	0,552
1,5	0,0660	0,241	0,774	0,195	0,350	0,715
1,8	0,100	0,385	0,923	0,205	0,421	0,883
2,0	0,129	0,488	0,970	0,217	0,505	0,946
2,2	0,164	0,607	0,990	0,248	0,619	0,982
2,5	0,228	0,763	1,00	0,325	0,792	0,999
3,0	0,360	0,964	*	0,511	0,950	*
3,5	0,512	1,07	0,896	0,638	1,01	0,906
4,0	0,675	*	0,932	0,704	*	0,932
4,5	0,833	1,05	0,998	0,770	1,03	0,982
5,0	0,963	1,04	1,05	0,894	1,03	1,01

* Соответствующие значения α не определены из-за близости параметра ka к характеристическим значениям. В статье [2] приведены различные модификации интегрального уравнения Гельмгольца, позволяющие получить решение и при характеристических волновых числах.

Сказанное выше необходимо учитывать при выборе акустически мягкого или акустически жесткого цилиндрического экрана при экранировании внутреннего объема цилиндрических излучателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Козырев В. А., Шендеров Е. Л.* О сопротивлении излучения цилиндра конечной высоты.— Акуст. ж., 1980, т. 26, № 3, с. 422—432.
2. *Meyer W. L., Bell W. A., Stallybrass M. P., Zinn B. T.* Prediction of the sound field radiated from axisymmetric surfaces.— J. Acoust. Soc. America, 1979, v. 65, № 3, p. 631—638.
3. *Мэзон У.* Физическая акустика, т. 1, ч. А, М.: Мир, 1966.

Поступила в редакцию
24.XII.1979
После исправления
3.VII.1980

УДК 534.2; 532.528

О ВЛИЯНИИ ВРЕМЕНИ ОЗВУЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ НА ПОРОГОВЫЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ КАВИТАЦИИ

Кравцова Л. П., Чистяков Е. С.

Механизм ультразвуковой газовой кавитации зависит от многих факторов и довольно подробно рассмотрен с точки зрения исследования дегазации жидкости в работе [1]. Закономерности возникновения этого процесса представляют также интерес при определении кавитационной прочности жидкости акустическими методами, поскольку результаты измерений зависят от времени озвучивания жидкости.

Как известно, диффузионный рост микропузырьков в жидкости возможен только при условии, что амплитуда звукового давления P превышает некоторое критическое значение $P_{кр}$, зависящее от свойств жидкости и параметров акустического поля [2]. При амплитуде $P>P_{кр}$ пузырек за некоторое время вырастает до нового равновесного значения, определяемого установлением диффузионного равновесия пузырька при данной амплитуде P. Если время нахождения пузырька в акустическом