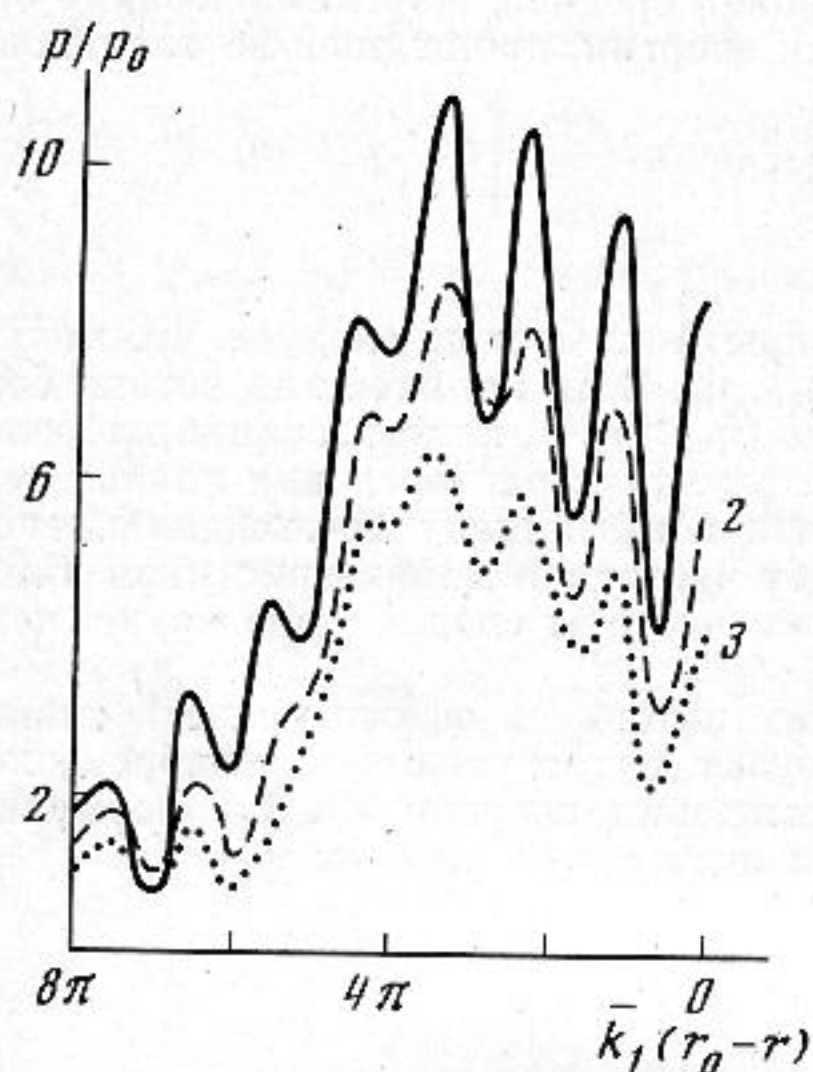


ФОКУСИРОВКА ЗВУКА ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ЖИДКОЙ СФЕРОЙ

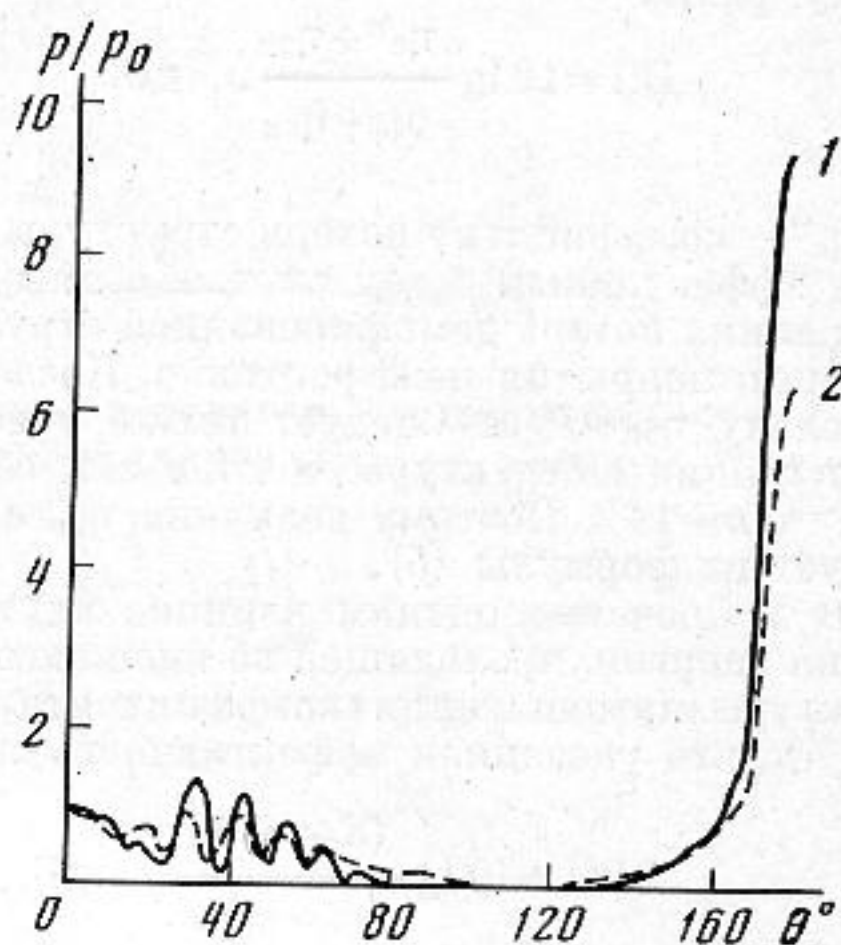
Макарченко Н. Н., Рожин Ф. В., Тонаканов О. С.,

Дальнее поле дифракции плоской звуковой волны на сферах и цилиндрах с учетом поглощения в заполнителе рассматривалось в работах [1-3]. Были отмечены также резонансные особенности рассеяния [4, 5]. Рассмотрение ближнего поля связано с использованием жидкостных сфер и цилиндров для фокусировки звука. Фокусирующие свойства однородной жидкостной сферической линзы рассматривались в работах [6, 7], исходя из точного решения волнового уравнения. Однако в этих работах не было учтено затухание в материале линзы и не было обращено внимание на резонансные свойства сферы.

В данной работе, исходя из точного решения задачи дифракции плоской звуковой волны на жидкостной сфере [8], на ЭВМ БЭСМ-6 были рассчитаны радиальные



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Поле внутри сферы на оси при $\bar{k}_2/\bar{k}_1=0$ (1), $\bar{k}_2/\bar{k}_1=0,55 \cdot 10^{-2}$ (2), $\bar{k}_2/\bar{k}_1=1,1 \cdot 10^{-2}$ (3), $kr_0=19,3$

Фиг. 2. Угловое распределение поля на поверхности сферы при $\bar{k}_2/\bar{k}_1=0$ (1), $\bar{k}_2/\bar{k}_1=0,52 \cdot 10^{-2}$ (2), $kr_0=19,15$

и угловые распределения ближнего поля звукового давления для значений параметра kr_0 ($k=2\pi/\lambda$, λ — длина волны в окружающей жидкости, r_0 — радиус сферы) в интервале $6\pi \leq kr_0 \leq 10\pi$ в случае равных плотностей материала сферы и окружающей жидкости и показателя преломления $n=2$ ($n=c/\bar{c}$, c и \bar{c} — скорости звука в окружающей жидкости и материале сферы соответственно).

Учет затухания был произведен путем замены действительных \bar{k} ($\bar{k}=2\pi/\bar{\lambda}$, $\bar{\lambda}$ — длина волны в материале сферы) на комплексные $\bar{k}=\bar{k}_1 - i\bar{k}_2$. При этом в решении использованы сферические функции Бесселя комплексного аргумента, вычисление которых проводилось по формулам обратной рекурсии. Точность вычисления значений этих функций проверялась по известному разложению плоской волны, распространяющейся в среде с затуханием, в ряд по сферическим функциям.

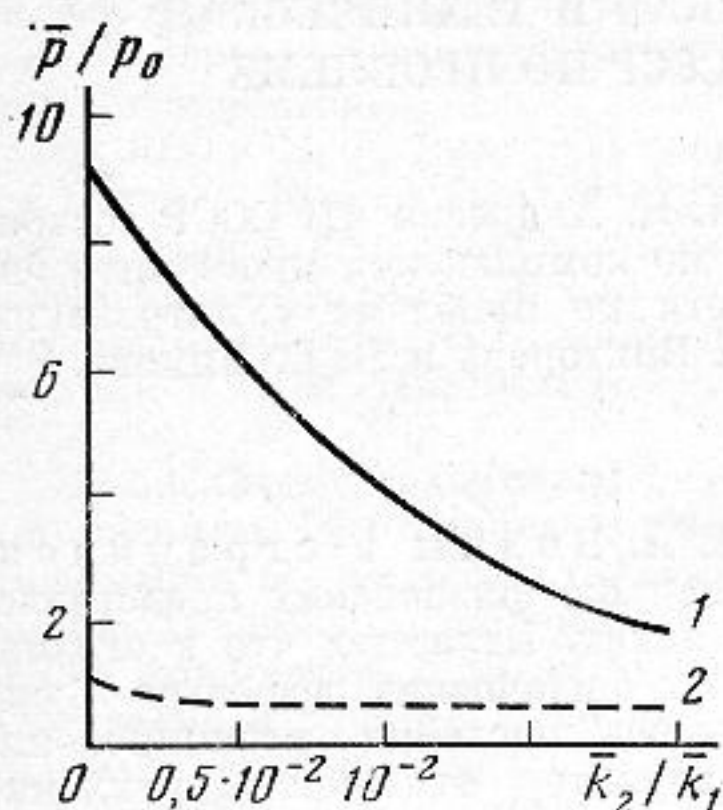
Важными характеристиками сферической линзы являются распределение звукового давления на поверхности линзы и по акустической оси. Конечность длины звуковой волны, а также присущая однородным линзам абберация приводят к тому, что вместо точечного фокуса, который имеет место в геометрической акустике для сходящихся безабберационных фронтов, образуется фокальная область, имеющая конечные размеры и сложное строение. В связи с этим в волновом случае для распределения звукового давления по акустической оси внутри сферической линзы характерно наличие области, в которой амплитуда давления существенно больше амплитуды давления в падающей волне и имеет осциллирующий характер. Расположение этой области на акустической оси и ее размеры зависят от показателя преломления [7].

Примеры распределения нормированного звукового давления \bar{p}/p_0 (p_0 — амплитуда давления в падающей волне) на оси во внутренней области между центром сферы и ее теневой поверхностью для трех различных значений \bar{k}_2/\bar{k}_1 показаны на фиг. 1 ($\bar{k}_2/\bar{k}_1=0$; $0,55 \cdot 10^{-2}$; $1,1 \cdot 10^{-2}$). Видно, что наряду с уменьшением амплитуды максимумов уменьшается амплитуда пульсаций (неравномерность) звукового давле-

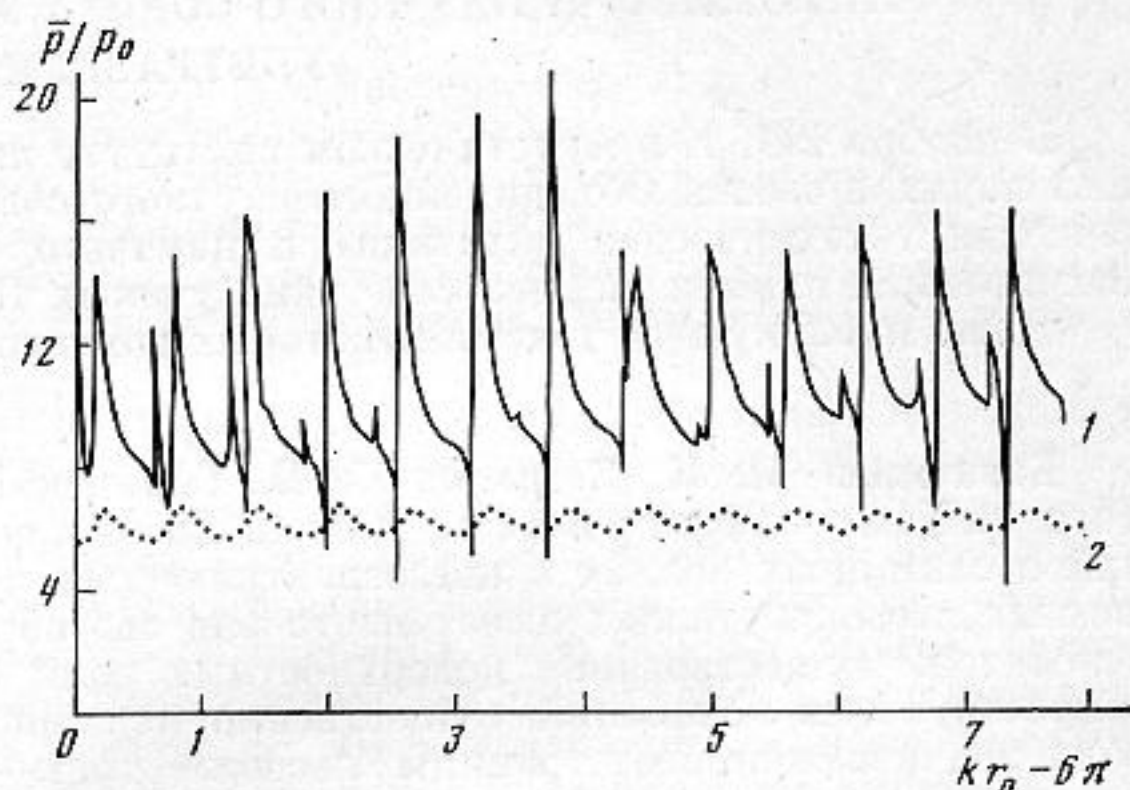
ния. При действительном $n=2$ один из максимумов находится на поверхности. Введение комплексного \bar{k} не изменяет его положения.

Для углового распределения давления на поверхности сферы (в случае системы линза — точечный ненаправленный приемник, расположенный на ее поверхности) характерно наличие узкого главного максимума и боковых максимумов. Ширина главного максимума, определяющая диаметр фокального пятна, и отношение амплитуды главного максимума к наибольшему из боковых позволяют судить о пригодности фокусирующей системы для использования в конкретных устройствах.

Типичное угловое распределение звукового давления на поверхности сферы показано на фиг. 2 (кривая 1 — без затухания, кривая 2 — с затуханием $\bar{k}_2/\bar{k}_1=$



Фиг. 3



Фиг. 4

Фиг. 3. Зависимость поля на поверхности сферы от затухания при $\theta=180^\circ$ (1), $\theta=0^\circ$ (2), $kr_0=23$

Фиг. 4. Зависимость поля на поверхности сферы от kr_0 при $\theta=180^\circ$ и $\bar{k}_2/\bar{k}_1=0$ (1), $\bar{k}_2/\bar{k}_1=0,53 \cdot 10^{-2}$ (2)

$=0,52 \cdot 10^{-2}$). Сравнение со случаем сферы без затухания показывает, что с увеличением затухания уменьшается отношение амплитуды главного максимума ($\theta=180^\circ$) к наибольшему из боковых ($\theta=0^\circ$), что видно из фиг. 3, где кривая 1 соответствует углу $\theta=180^\circ$, а кривая 2 — углу $\theta=0^\circ$. Ширина главного максимума по уровню $-3\sigma_B$ при этом существенно не изменяется.

При определенных значениях kr_0 возможно резонансное возбуждение собственных колебаний жидкой сферы, что объясняет характер зависимости давления на поверхности от kr_0 при $\theta=180^\circ$ (фиг. 4). Учет затухания приводит к существенному сглаживанию пульсаций давления. Аналогичная картина наблюдается и для $\theta=0^\circ$.

Результаты расчетов, представленные в данной работе, проясняют картину ближнего поля с учетом затухания и могут быть использованы при экспериментальных работах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vogt R. H., Flax L., Dragonette L. R. Monostatic reflection of a plane wave from an absorbing sphere.— JASA, 1975, v. 57, № 3, p. 558–561.
2. Hasegawa T., Kitagawa Y., Watanabe Y. Sound reflection from an absorbing sphere.— JASA, 1977, v. 62, № 5, p. 1298–1300.
3. Schuetz L. S., Neubauer W. G. Acoustic reflection from cylinders-nonabsorbing and absorbing.— JASA, 1977, v. 62, № 3, p. 513–517.
4. Flax L., Dragonette L. R., Überall H. Theory of elastic resonance excitation by sound scattering.— JASA, 1978, v. 63, № 3, p. 723–732.
5. Vogt R. H., Neubauer W. G. Relationship between acoustic reflection and vibrational modes of elastic sphere.— JASA, 1976, v. 60, № 1, p. 15–22.
6. Boyles C. A. Theory of focusing plane waves by spherical liquid lenses.— JASA, 1965, v. 38, № 3, p. 393–405.
7. Макаренко Н. Н., Рожин Ф. В., Тонаканов О. С. Фокусировка звука жидкой сферой.— Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон., 1980, т. 21, № 6, с. 97–100.
8. Ржевкин С. Н. Курс лекций по теории звука. М.: Изд-во МГУ, 1960, с. 257–286.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию 19.XI.1980