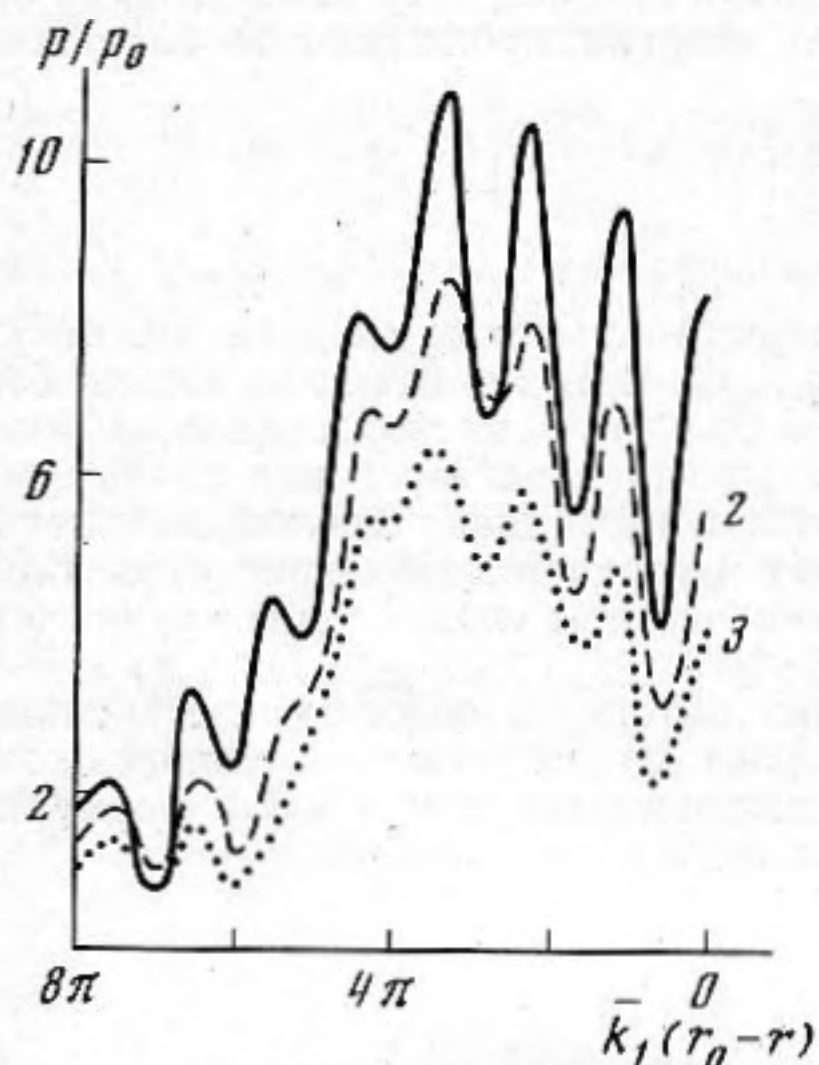


## ФОКУСИРОВКА ЗВУКА ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ЖИДКОЙ СФЕРОЙ

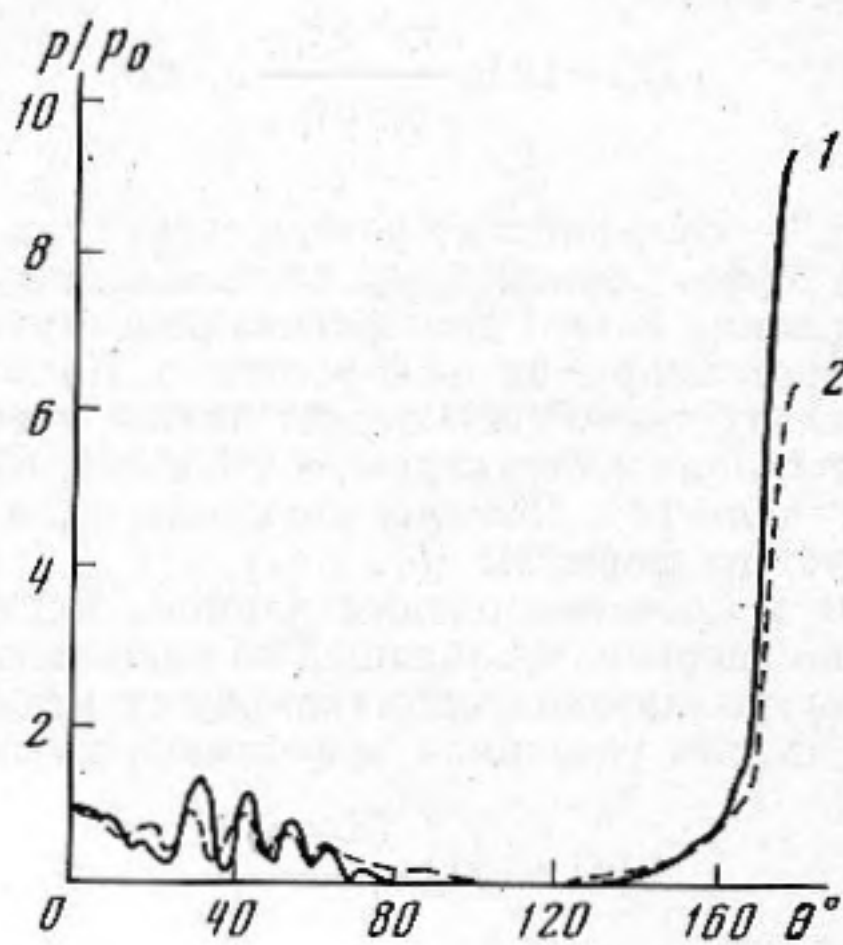
Макарченко Н. Н., Рожин Ф. В., Тонаканов О. С.,

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  $kr_0$  ( $k=2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  — 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.

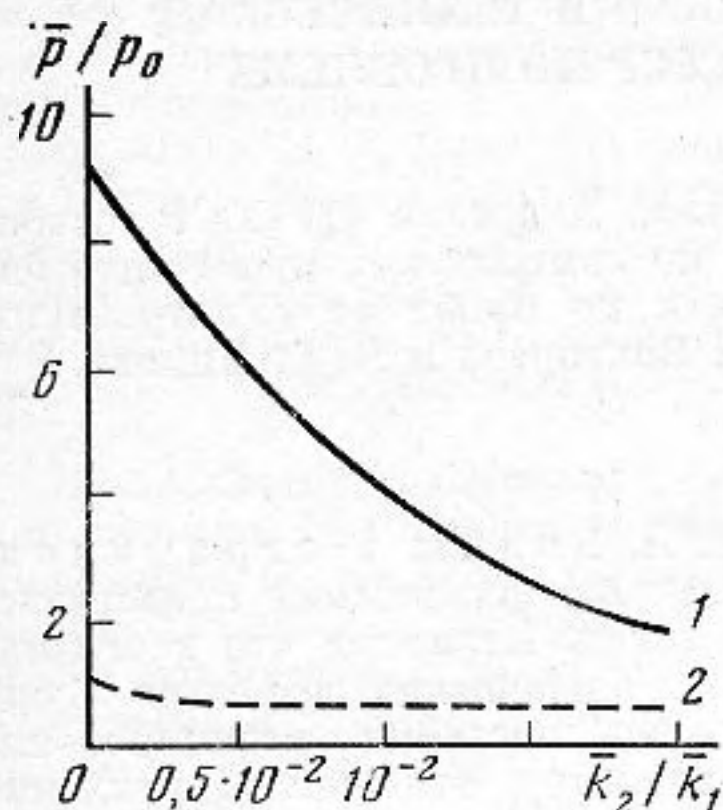
Важными характеристиками сферической линзы являются распределение звукового давления на поверхности линзы и по акустической оси. Конечность длины звуковой волны, а также присущая однородным линзам абберация приводят к тому, что вместо точечного фокуса, который имеет место в геометрической акустике для 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-

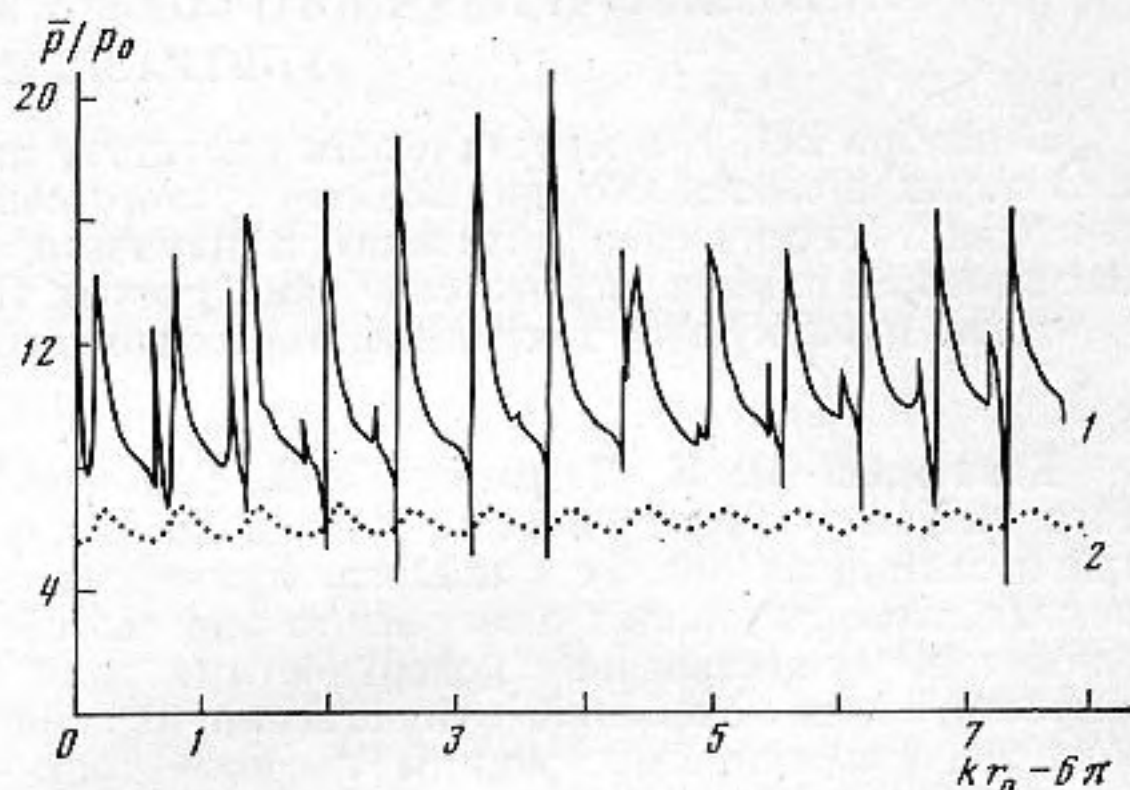
ния. При действительном  $n=2$  один из максимумов находится на поверхности. Введение комплексного  $\bar{k}$  не изменяет его положения.

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., Uberall 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