

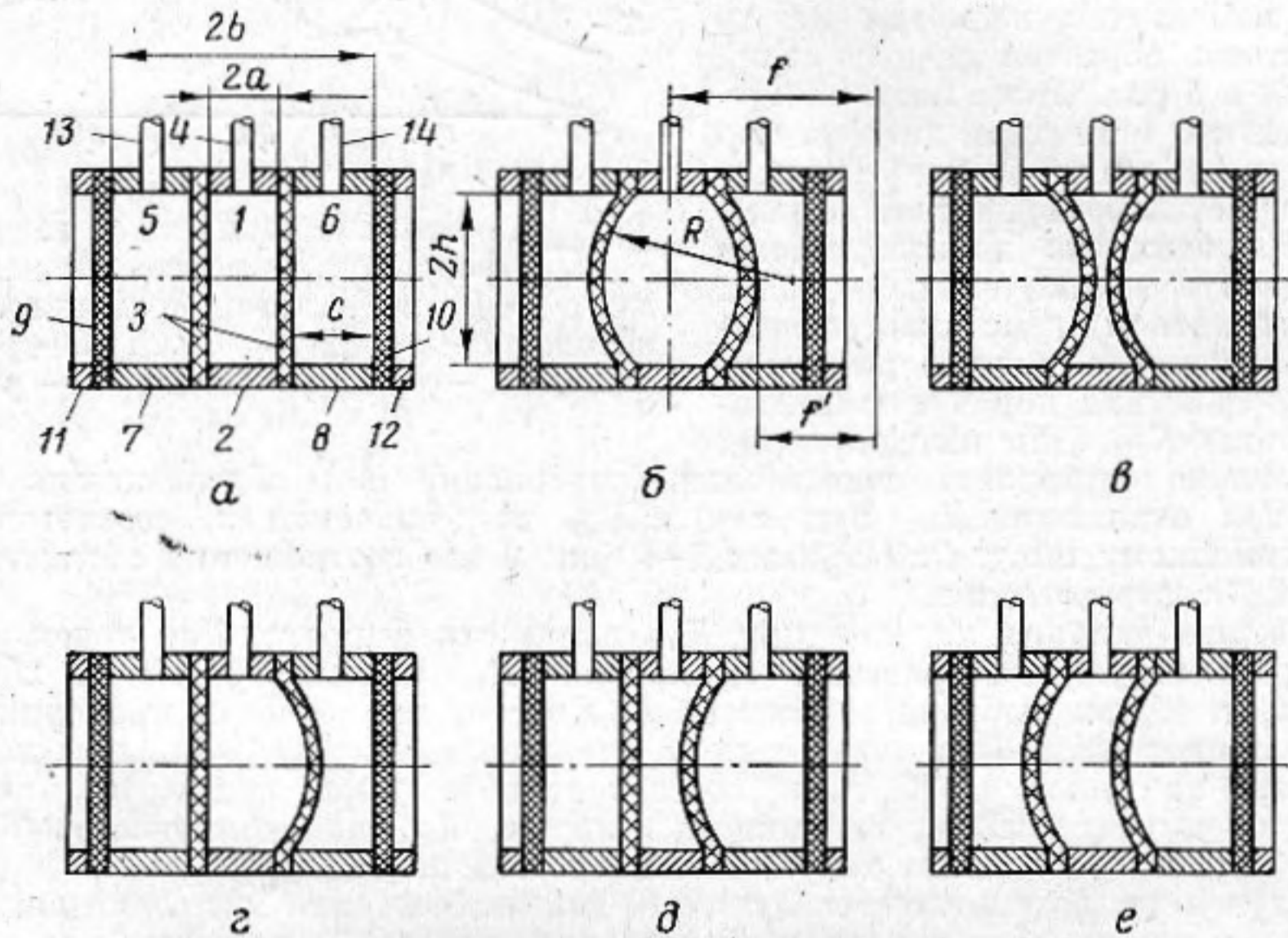
## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТРЕХКАМЕРНАЯ ЛИНЗА С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ

*И. Н. Каневский, В. А. Касьянов, М. М. Нисневич*

В работе [1] описаны результаты исследования ультразвуковой линзы с переменным фокусным расстоянием, изменение которого осуществляется путем изменения радиусов кривизны преобразующих поверхностей.

Камера 1 (фиг. 1), образованная металлическим корпусом 2 с эластичными оболочками 3, изготовленными из резины, заполняется через патрубок 4 жидкостью, в которой скорость распространения ультразвуковых волн меньше, чем в окружающей линзу среде. Изменяя давление жидкости в камере, можно изменять кривизну преобразующих поверхностей 3 и тем самым изменять фокусное расстояние линзы. Недостаток такой линзы состоит в возможности колебаний поверхностей при внешнем возмущении и искривлении поверхности в поле силы тяжести.

Ниже приведены результаты исследования трехкамерной линзы, которая позволяет избавиться от этих недостатков. На фиг. 1 показаны камеры 5 и 6, образован-



Фиг. 1. Трехкамерная линза. а — конструкция линзы, б—е — типы линз: двояковыпуклая (б), двояковогнутая (в), плосковыпуклая (г), плосковогнутая (д), выпукло-вогнутая (е)

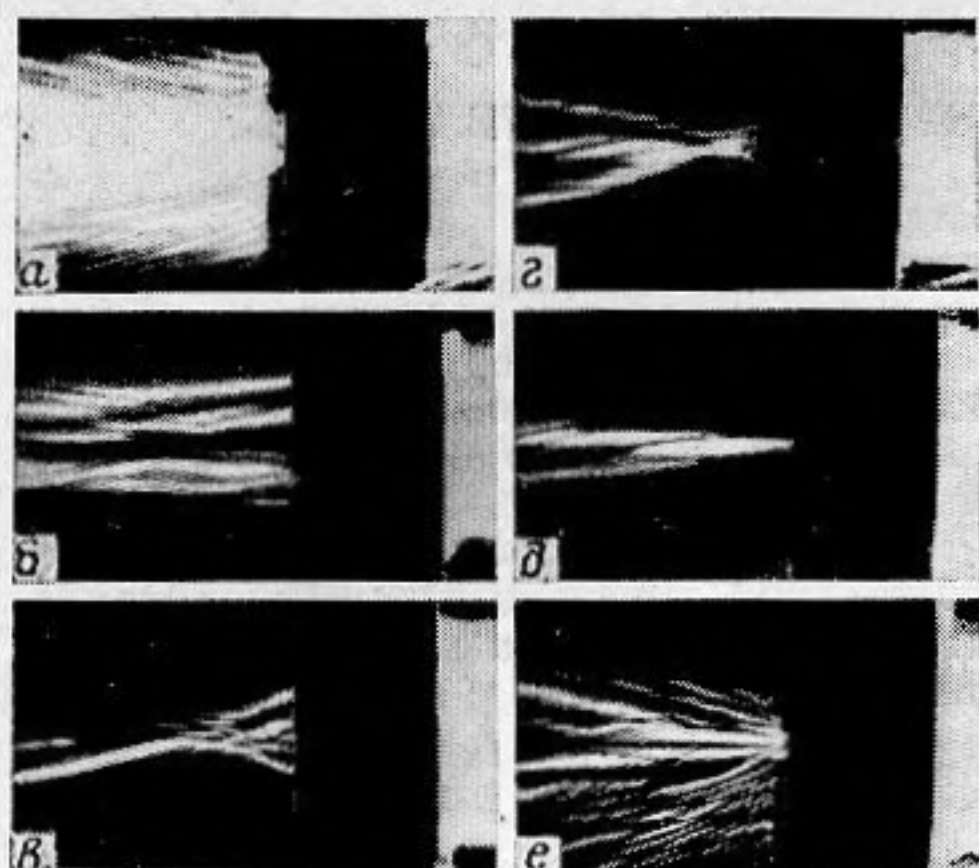
ные корпусами 7 и 8 с тереленовыми пленками 9 и 10, которые почти не изменяют размеров при растягивающих усилиях. Пленки плотно прижаты к корпусам 7 и 8 при помощи колец 11 и 12. Через патрубки 13 и 14 камеры 5 и 6 заполняются той же жидкостью, в которую погружена линза, например водой. Изменяя давление в камерах 1, 5 и 6, можно, во-первых, в широких пределах изменять радиусы кривизны; во-вторых, создав постоянное дополнительное давление во всех камерах, можно существенно уменьшить влияние гравитационных сил и тем самым максимально приблизить форму поверхностей к сферической; в-третьих, можно избежать движения преобразующих поверхностей при внешних возмущениях; в-четвертых, заполнив камеру 1 жидкостью, в которой скорость распространения ультразвуковых волн больше, чем в окружающей линзу среде, и создав в камерах 5, 6 давление, большее, чем в камере 1, можно получить ускоряющую линзу, у которой, как известно, сферические аберрации меньше, чем у замедляющих линз. На фиг. 1 показаны различные типы линз. Эти линзы получаются при различных соотношениях давлений в камерах 1, 5 и 6.

Фокусное расстояние такой линзы  $f$  находится с помощью выражения

$$(1) \quad f = NR^2 / (N-1)^2 x,$$

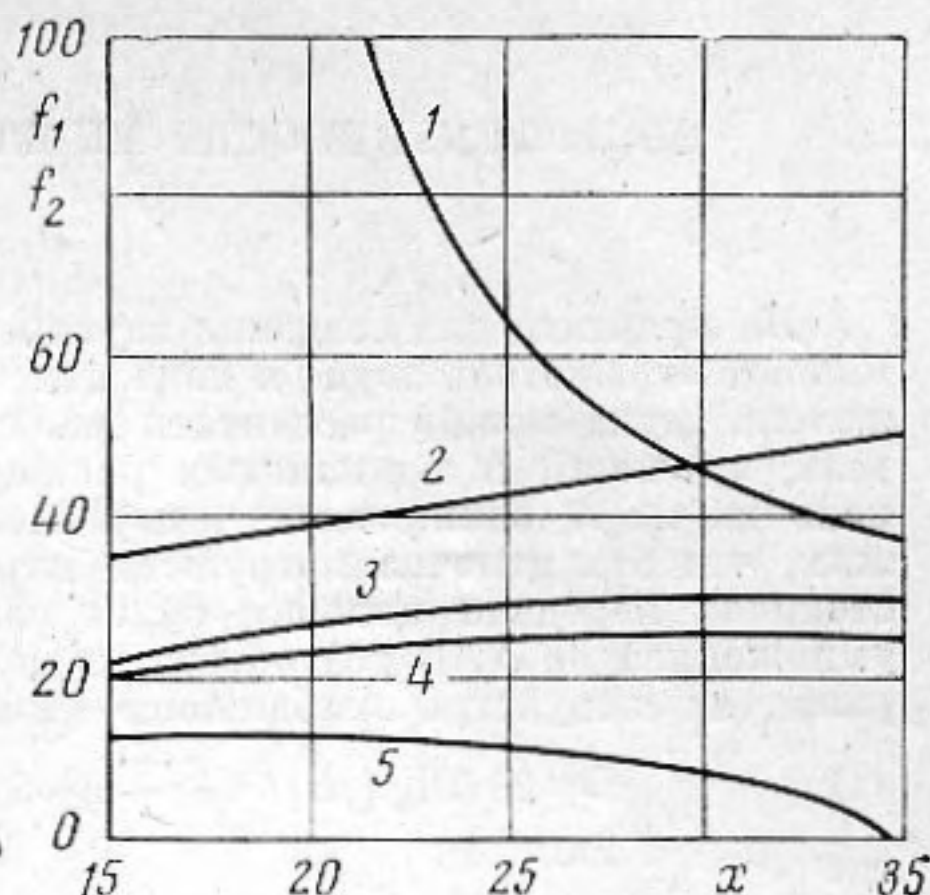
где  $R$  — радиусы кривизны преломляющих поверхностей,  $x$  — толщина линзы по акустической оси. Поскольку при изменении  $f$  одновременно изменяется  $x$ , для определения  $f$  надо найти соотношение между  $R$  и  $x$ .





Фиг. 2

Фиг. 2. Теневые фотографии полей линзы. *a* – рассеивающая линза, *б–д* – собирающие линзы с фокусами, расположенными на различных расстояниях от линзы, *е* – собирающая линза с фокусом внутри камеры 5



Фиг. 3

Фиг. 3. График для определения фокусного расстояния.  $f_1(x)$  – кривая 1,  $f_2(x)$  – кривые 2–5, 2 –  $f' = 88$  мм, 3 –  $f' = 43$  мм, 4 –  $f' = 35$  мм, 5 –  $f' = 17,5$  мм

Обозначив расстояние от центра линзы до фокуса через  $f'$ , используя обозначения фиг. 1 и выражение (1), учитывая, что  $f = f' - x/2$ , и считая преломляющие поверхности сферическими, получим

$$(2) \quad R = f_1(x), \quad R = f_2(x),$$

$$(3) \quad f_1(x) = [(x-2a)^2 + 4h^2] / 4(x-2a),$$

$$(4) \quad f_2(x) = (N-1) \sqrt{(x/N)(f' - (x/2))}.$$

Уравнения (2) будут совместны при  $2a \leq x \leq 2b$ , если  $h^2 \leq a^2 + c^2$ . В этом случае преломляющие поверхности являются сферическими при  $f_2(x) \geq f_1(x)$  и

$$(5) \quad f' \geq [N/(N-1)^2] \{ (2h^2 - a^2)^2 / 2 \times \\ \times [2(h^2 - a^2)(a + \sqrt{h^2 - a^2})] \} + a + \sqrt{h^2 - a^2}.$$

Если  $h^2 > a^2 + c^2$ , то  $f_1(x) \geq f_2(x)$  при  $x = 2b$  и

$$(6) \quad f' \geq [N(c^2 + h^2)^2 / (N-1)^2 8bc^2] + b.$$

Если условия (5) или (6) не выполняются, то система уравнений (2) в интервале  $2a \leq x \leq 2b$  несовместна. Последнее обусловлено отличием преломляющих поверхностей от сферических.

Нами была экспериментально исследована линза с размерами  $a = 7,5$  мм,  $b = 17,5$  мм,  $c = 10$  мм,  $h = 25$  мм, в которой камеры 5 и 6 были заполнены водой, а камера 1 – органической жидкостью с показателем преломления относительно воды  $N = 2,61$ . На фиг. 2 показаны теневые фотографии полей линзы при различных соотношениях давлений в камерах 1, 5 и 6. У исследованной линзы  $h^2 > a^2 + c^2$ , поэтому из условия (6) находим, что поверхность линзы будет сферической при  $f' \geq 78,4$  мм. Такой случай приведен на фиг. 2, б ( $f' = 88$  мм). Из формулы (2) получим  $x = 29$  мм,  $R = 46$  мм,  $f = 73$  мм. На фиг. 3 приведены графики зависимостей  $f_1(x)$  (кривая 1) и  $f_2(x)$  (кривые 2–5) от  $x$ .

Как видно из фиг. 3, при изменении  $x$  в интервале  $[2a, 2b]$  пересекаются только кривые 1 и 2 в точке с координатами  $R = 46$  мм,  $x = 29$  мм. Во всех остальных случаях (при  $f' < 78,4$  мм) преломляющие поверхности линзы не являются сферическими.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Knollman G. C., Bellin J. L. S., Weaver J. L. Variable — Focus Liquid — Filled Hydroacoustic Lens. J. Acoust. Soc. America, 1971, 49, 1, 253–261.

Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности

Поступила  
23 августа 1977 г.