АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том II 1956 Вып. 3

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ИЗ КЕРАМИКИ ТИТАНАТА БАРИЯ, ИЗЛУЧАЮЩИЙ ВДОЛЬ ОСИ ЦИЛИНДРА

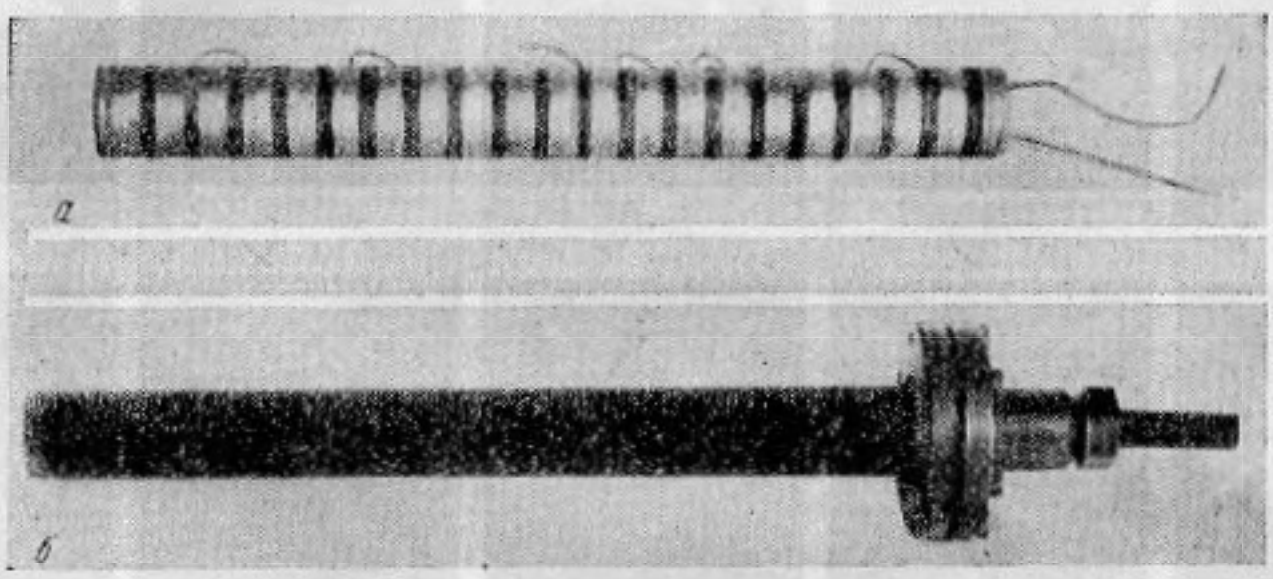
А. А. Ананьева

Как известно, задавая определенным образом изменение фазы вдоль колеблющейся поверхности излучателя, можно наклонять характеристику направленности по отношению к излучающей поверхности. В частности, для «линейных» излучателей (например, цилиндрическая труба) можно получить характеристику направленности, максимум которой направлен вдоль излучающей линии [1—4].

В настоящей работе дано описание цилиндрического излучателя, представляющего собой цельную трубу из керамики титаната бария, на поверхности которой создано распределение нормальных скоростей вдоль образующей, соответствующее закону стоячей волны [5]. Поле, создаваемое в окружающей среде таким излучателем, представляет собой сумму двух спектров — цилиндрических волн, наклоненных к плоскости, перпендикулярной оси цилиндра под углом $\pm\alpha$, определяемым соотношением

$$\sin\alpha = \frac{\lambda}{d},$$

где λ — длина волны звука в среде, d — периодичность распределения нормальных скоростей. Знакопеременное распределение нормальных скоростей создавалось путем противоположной поляризации смежных участков длины $d/2$ при помощи секционированных наружных электродов при сплошном внутреннем электроде. Те же электроды в другой коммутации используются и для питания готового излучателя. На фиг. 1,*а* приведен внешний вид керамической трубы, а на фиг. 1,*б* — излучатель в собранном



Фиг. 1. *а* — керамическая труба с кольцевыми электродами, *б* — излучатель в собранном виде

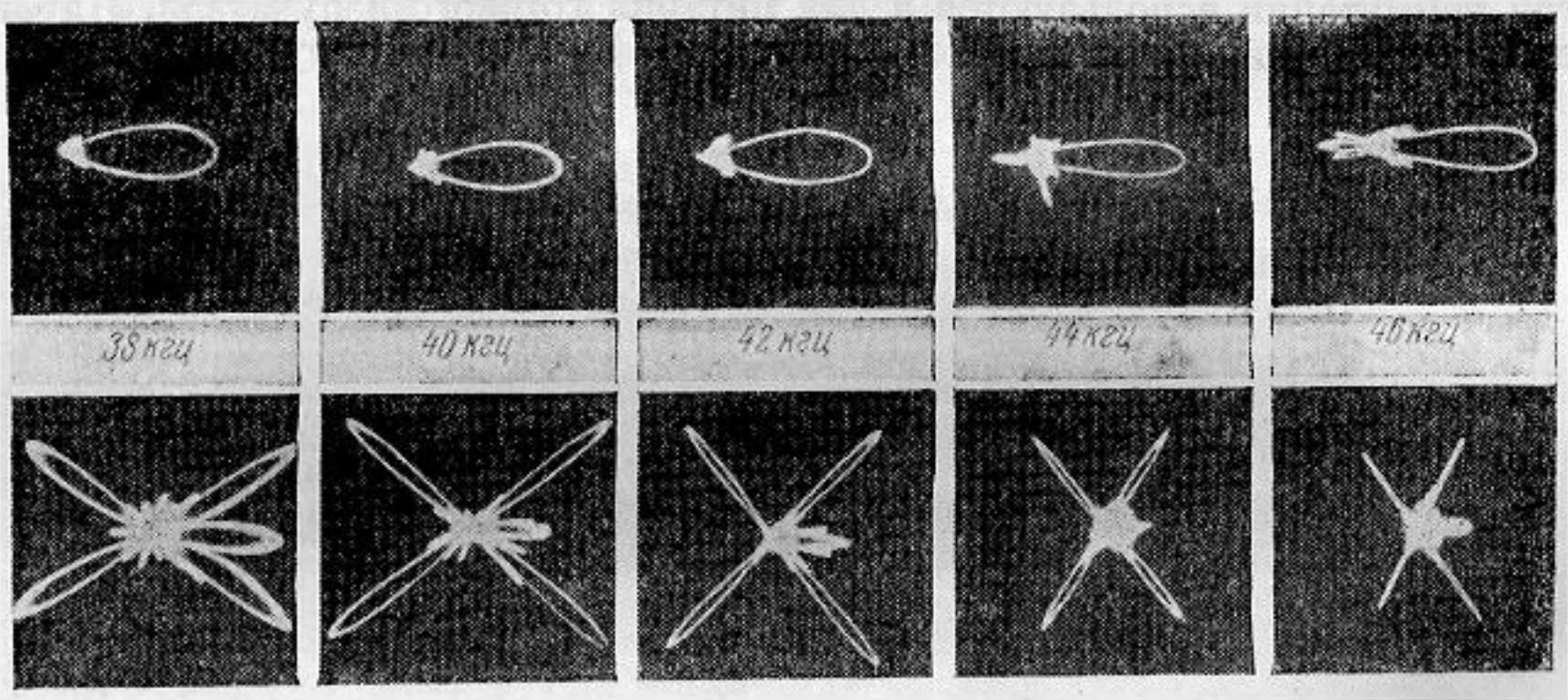
виде с трубой, окрашенной водонепроницаемым лаком. Данный излучатель сконструирован так, что максимум излучения, соответствующий частоте основного радиального резонанса (40 *кгц*), направлен вдоль оси цилиндра (случай $d = \lambda$). Длина трубы излучателя была равна 10λ. При работе излучателя металлические кольца на наружной поверхности цилиндра, соединенные общей шиной, служили его заземленным электродом. Гидроизоляция внутреннего электрода и ввод кабеля были осуществлены при помощи уплотняющего устройства — сальника, расположенного на одном конце трубы и являющегося частью механического крепления, фиксирующего излучатель в определенном положении в пространстве. Диаметр фланца сальника равнялся примерно двум длинам звуковой волны в воде (на рабочей частоте 40 *кгц*); фланец, экранируя скользящее излучение в одну сторону, отражал его в сторону свободного конца трубы. В результате эффективная длина излучателя удваивалась, что позволило получить на низких частотах сравнительно узкие характеристики направленности. На фиг. 2 даны примеры характеристик направленности в осевой плоскости трубы для разных частот излучения; в плоскости, перпендикулярной оси, преобразователь, ввиду ци-

линдрической симметрии конструкции, являлся ненаправленным. На фиг. 3 дано сравнение расчетных значений угла α, соответствующего различным частотам, с экспериментальными значениями, снятыми с характеристик направленности. Измерения собственных частот преобразователя показали, что он имеет две рабочие частоты: первая — низкочастотный резонанс радиальных колебаний, определяемый в воздухе соотношением $\pi D = \lambda_1$, (D — средний диаметр трубы, λ_1 — длина волны звука в керамике) и вторая — высокочастотный резонанс продольных колебаний, определяемый условием $\lambda_1 = d$. При работе в воде частота низкочастотного резонанса понижается приблизительно на 19%, в то время как высокочастотный резонанс смещается по частоте всего на 2%. При работе на низкочастотном резонансе преобразователь имеет повышенное сопротивление излучения (приблизительно в 1,6 раза) по сравнению со случаем синфазного колебания поверхности.

Таблица

Измеряемая величина \ Тип колебаний		Радиальный резонанс $f_1 = 40$ *кгц*	Продольный резонанс $f_2 = 136$ *кгц*
Электромеханический к.п.д.		82%	98%
Механический к.п.д.		73%	48%
Электроакустический к.п.д.		60%	47%
Коэффициент мощности в воде		0,13—0,14	0,787
Электрические потери		17,5%	2%
Механические потери	Потери в креплении	2%	10%
	Внутренние механические потери	20,5%	41%

Нами были проведены предварительные измерения электромеханических параметров данного излучателя при различных режимах его работы: без нагрузки (в вакууме), в воздухе и в воде; акустико-механический к. п. д. вычислялся нами по широко известному методу, использующему резонансные кривые. Для определения электромеханического к. п. д. производились измерения электрических потерь вне резонанса преобразователя. Знание двух коэффициентов полезного действия позволяет определить электроакустический к. п. д. Проведя дополнительные измерения активной составляющей электрического импеданца керамической трубы без механического крепления в вакууме, представляется возможным вы-



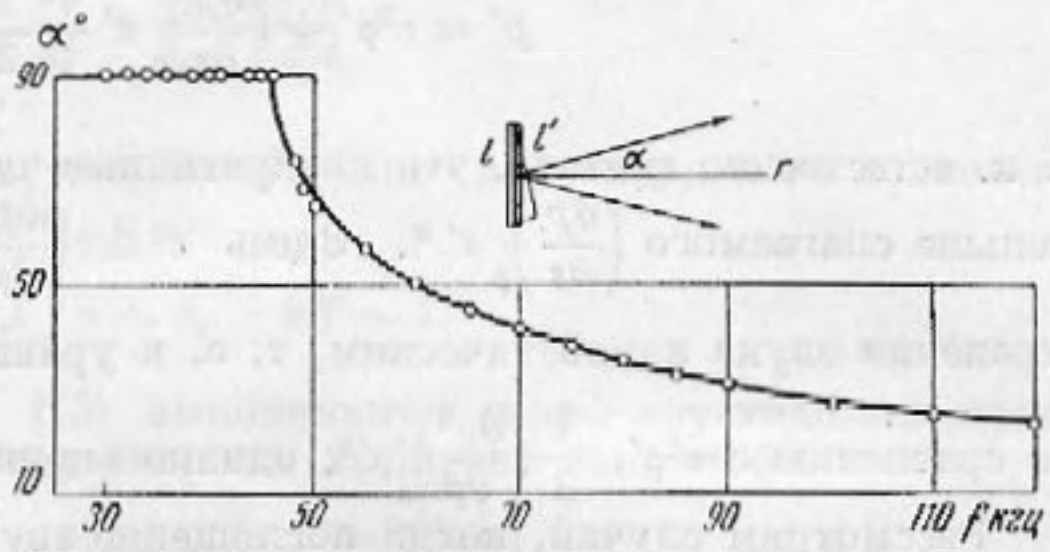
Фиг. 2. Характеристики направленности излучателя в осевой плоскости

делить механические потери в креплении из общего баланса механических потерь и таким образом оценить роль внутренних механических потерь в керамике.

В таблицу сведены предварительные результаты измерений параметров преобразователя, проведенных при малых электрических мощностях.

Излучению с частотой продольного резонанса должны соответствовать боковые спектры, направленные под углом $\pm 19°$ к плоскости, перпендикулярной оси цилиндра. При работе на этой частоте сопротивление излучения меньше, чем при излучении вдоль оси цилиндра; этим можно объяснить относительно большие внутренние потери на этой частоте, чем при работе излучателя на частоте радиального резонанса. Следует заметить, что электрический импеданц излучателя на частоте продольного резонанса имеет относительно малую реактивную составляющую по сравнению с активной его частью. Ввиду того что до сих пор данный преобразователь испытывался только на малых мощностях (до 0,6—0,7 *вт/см*^{2}), сравнение его в отношении максимальной излучаемой мощности с обычными керамическими преобразователями пока не было проведено. Результаты предварительных измерений к. п. д. этого излучателя на малых

мощностях позволяют рекомендовать использовать данный способ излучения звуковых волн в практических целях наряду с обычными керамическими излучателями с синфазно колеблющимися поверхностями. Низкочастотный резонанс в изготовленной нами модели был не совсем точно совмещен с частотой «скользящего» излучения; при более тщательном подборе периодичности можно ожидать некоторого увеличения эффективности излучения.



Фиг. 3. Угол наклона максимума характеристик направленности к плоскости, перпендикулярной оси цилиндра. Сплошная линия — расчетные данные; точками отмечены результаты эксперимента

В заключение отметим, что вместо знакопеременной поляризации участков трубы можно было бы, сохраняя ту же систему электродов и используя радиальную поляризацию одного знака, получить знакопеременность фазы колебаний смежных участков путем подачи на соответствующие электроды противофазного напряжения питания. Такая система может представить преимущества в тех случаях, когда необходимо использовать подполяризацию постоянным полем.

Пользуюсь случаем выразить благодарность Г. Д. Малюжинцу и М. А. Исаковичу за ценные советы, а также отметить участие в измерениях В. А. Басова и А. Н. Сапрыгина.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. T. Laird and H. Cohen. Directionality Patterns for Acoustic Radiation from a Source in a Rigid Cylinder. J. Acoust. Soc. Amer., 1952, 24, 46—49.
2. M. C. Junger. The Physical Interpretation of the Experession for an outgoing Wave in Cylindrical Coordinates. J. Acoust. Soc. Amer., 1952, 25, 40—47.
3. D. H. Robey. On the Radiation Impedance of an Array of Finite Cylinders. J. Acoust. Soc. Amer., 1955, 27, 4, 706—710.
4. G. J. Thiessen. On the Efficiency on Acoustic Line Source with Progressive Phase Shift. Canadian Journ. of Physics. 1955, 33, 11, 618—621.
5. А. А. Ананьева. Испытания керамического излучателя, работающего на принципе бегущей волны. Отчет Акустического института АН СССР, 1955.

Акустический институт АН СССР
Москва.

Поступило в редакцию
26 марта 1956 г.

АКУСТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛОСКИХ ВОЛН КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ

З. А. Гольдберг

При рассмотрении акустических вопросов второго приближения исходят из уравнений гидродинамики (см., например, [1]):

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho (\mathbf{v}\nabla)\, \mathbf{v} = -\nabla p + \eta \nabla^2 \mathbf{v} + \left(\frac{\eta}{3} + \zeta\right) \nabla \operatorname{div} \mathbf{v}, \tag{1}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{v} = 0, \tag{2}$$

и уравнения энергии,

$$\rho T \left(\frac{\partial s}{\partial t} + \mathbf{v}\nabla s\right) = \sigma'_{ik} \frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \operatorname{div} (x \nabla T), \tag{3}$$

которые решают методом последовательных приближений. Метод выделения акустических уравнений второго приближения был дан в работе [2], где рассмотрены уравнения гидродинамики с учетом вязкости. Процесс распространения звука считался адиабатическим.

В настоящей работе уточняется решение поставленной Эккартом [2] задачи строгого выделения акустических уравнений второго приближения и, в связи с этим, рассматривается, когда можно считать процесс распространения звука адиабатическим в вопросах второго приближения и распространения плоских волн конечной амплитуды.