

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

К ВОПРОСУ О СМЕЩЕНИИ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ ПЛОСКОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА АКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

А. А. Ананьева

Анализ волнового расчета пьезоэлектрического плоского излучателя без потерь, выполненный в общем виде Н. Н. Андреевым [1], и конкретизированный для случая активной нагрузки на акустической стороне автором [2], приводит к некоторым, как нам кажется, полезным для практики выводам.

Так, представляет интерес расчет эффективной толщины пьезоэлектрического излучателя в виде плоской пластины при работе его в ту или иную среду, определяемую волновым сопротивлением $\rho_n c_n$, при условии максимальной излучаемой мощности в режиме заданного напряжения на обкладках излучателя или в режиме постоянства тока, протекающего через излучатель.

Из расчета плоского излучателя, нагруженного на активное сопротивление $\rho_n c_n$, без учета внутренних потерь в пьезоэлектрике, следует, что в режиме постоянства тока через излучатель максимальная акустическая мощность будет излучаться на частоте, соответствующей максимальной активной составляющей электрического импеданса излучателя.

Если полный электрический импеданс излучателя представить в виде $z_{эл} = r + jx$, то активная составляющая электрического импеданса для случая симметричной нагрузки ($z_1 = z_2 = z$) пьезоэлектрического излучателя будет

$$r_{II} = A \cdot \frac{\beta z}{(kl)^2} \cdot \frac{2}{ctg^2 \frac{kl}{2} + z^2} \tag{1}$$

для случая односторонней нагрузки на излучатель ($z_1 = z; z_2 = 0$)

$$r_I = A \frac{\beta z}{(kl)^2} \cdot \frac{tg^2 \frac{kl}{2}}{z^2 ctg kl + 1}, \tag{2}$$

где $z = \rho_n c_n / \mu c$ — отношение волновых сопротивлений среды, в которой работает излучатель, и собственного волнового сопротивления пьезоэлектрика, k — волновое число, l — толщина пьезоэлектрической пластины, β — квадрат коэффициента электро-механической связи, A — постоянная величина, независящая от kl .

Условие $r = r_{max}$ для случая двухстороннего симметричного излучения в среду записывается в виде

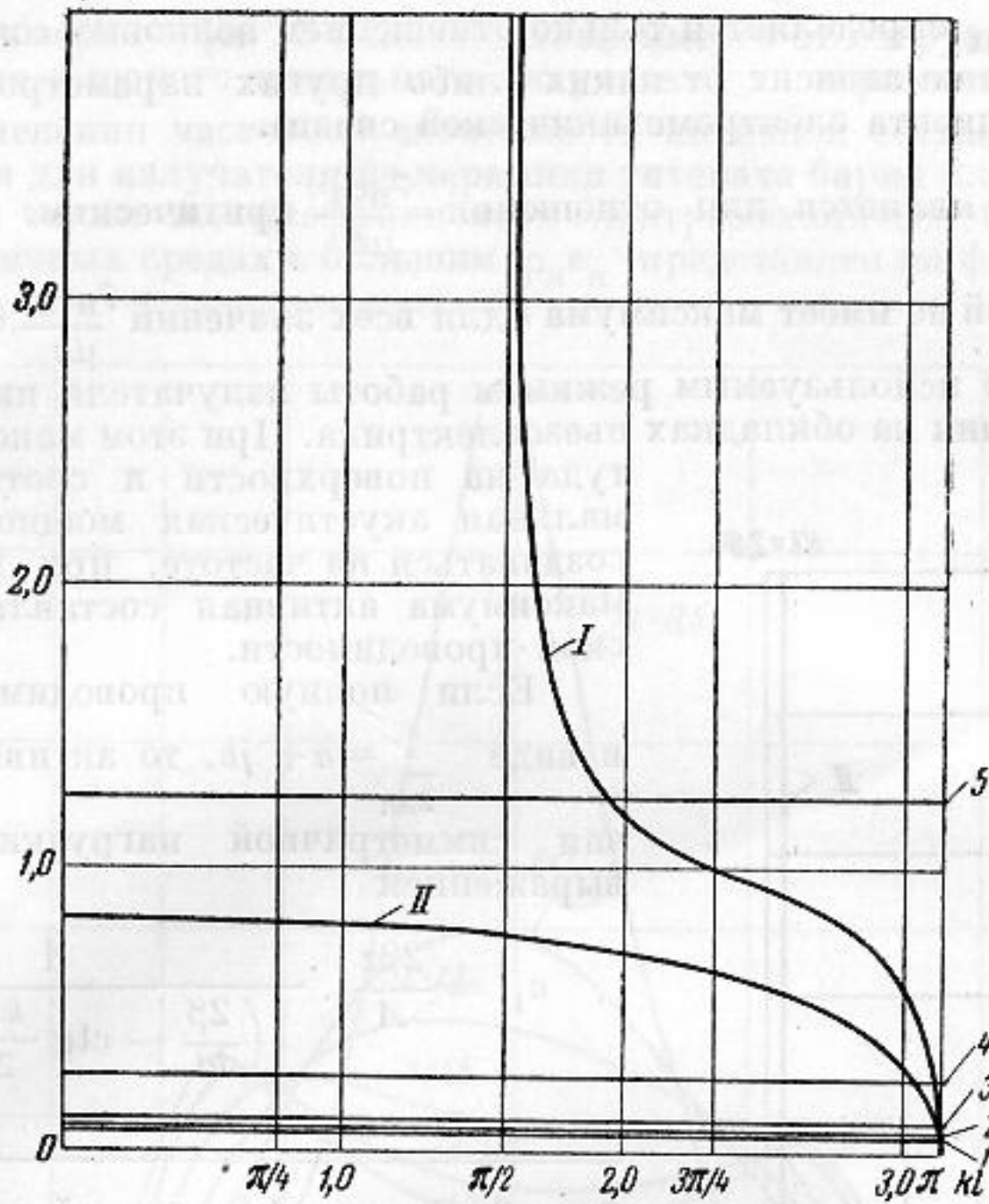
$$z^2 = \frac{\frac{kl}{\sin kl} - 1}{tg^2 \frac{kl}{2}} \tag{3}$$

и для случая одностороннего излучения

$$z^2 = \frac{kl - \sin kl}{tg \frac{kl}{2} \cos kl - kl} - tg \frac{kl}{2} tg kl. \tag{4}$$

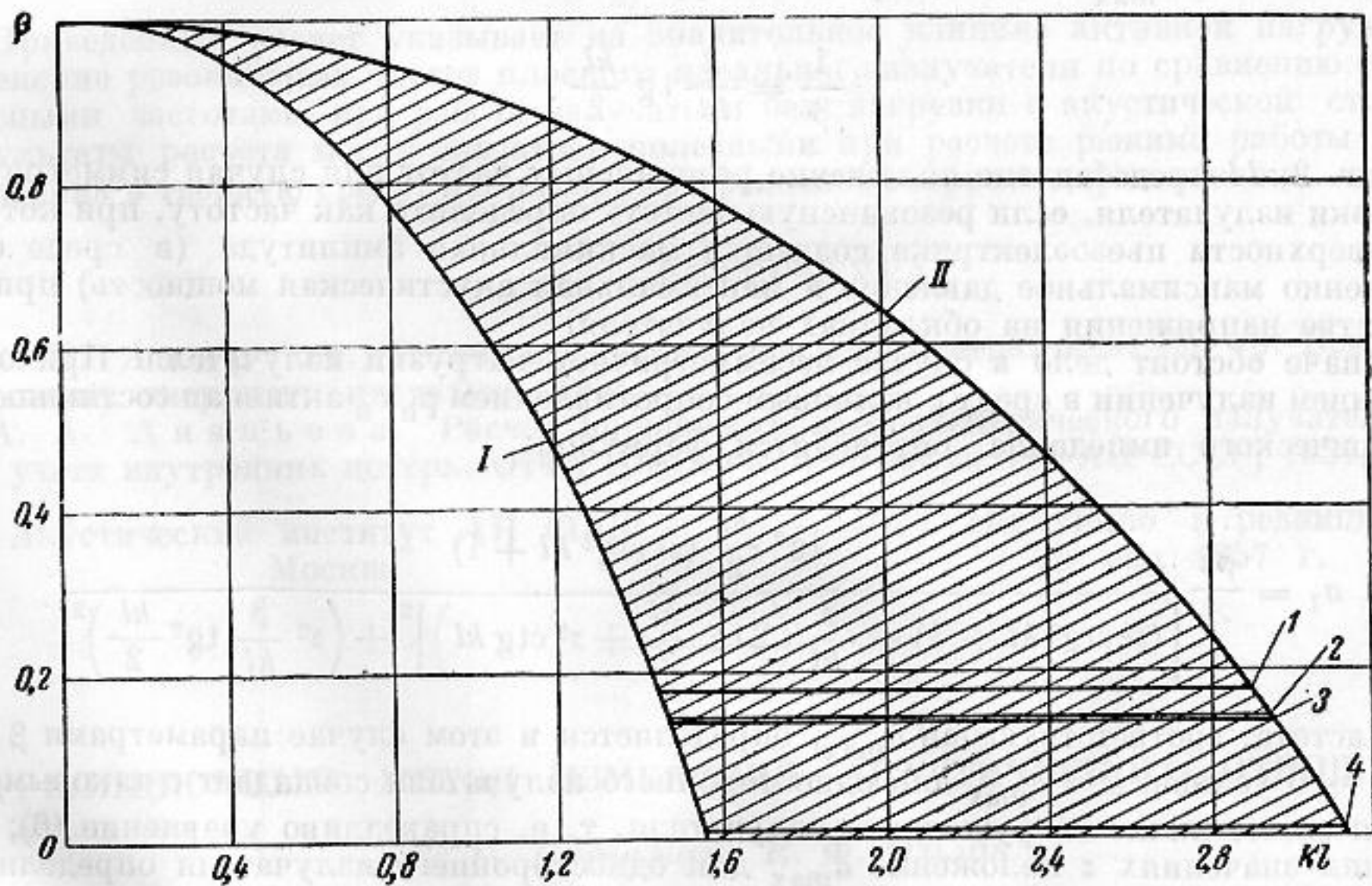
Графическое решение уравнений (3) и (4), представленное на фиг. 1, показывает, что резонансная частота плоского идеального излучателя, если ее определить как частоту, при которой на поверхности пьезоэлектрика мы имеем максимальную амплитуду колебаний или максимальное давление и соответственно максимальную излучаемую мощность в среде при заданном токе через пьезоэлектрик, зависит от волнового сопротивления среды, на которую нагружен данный пьезоэлектрический излучатель. При

$$z = \frac{\rho_n c_n}{\mu c}$$



Фиг. 1. Расчет эффективной толщины пластины, соответствующей максимальной чувствительности излучателя по току при работе в среде с волновым сопротивлением $\rho_n c_n$:

I — случай одностороннего излучения; II — случай двухстороннего излучения. Отношения волновых сопротивлений, соответствующие следующим системам: 1 — титанат бария — вода, 2 — ниобат свинца — вода, 3 — кварц — вода, 4 — сегнетова соль (L-срез) — вода, 5 — титанат бария — сталь



Фиг. 2. Расчет эффективной толщины пластины, соответствующей максимальной чувствительности излучателя по напряжению:

I — случай одностороннего излучения при больших значениях z ; II — то же при малых значениях z и случай двухстороннего излучения при любых значениях z . Коэффициент β следующих пьезоматериалов: 1 — ниобат свинца, 2 — титанат бария, 3 — сегнетова соль (L-срез), 4 — кварц

этом положение r_{\max} определяется только отношением волновых сопротивлений среды и пьезоэлектрика и не зависит от каких-либо других параметров излучателя (например, от коэффициента электромеханической связи).

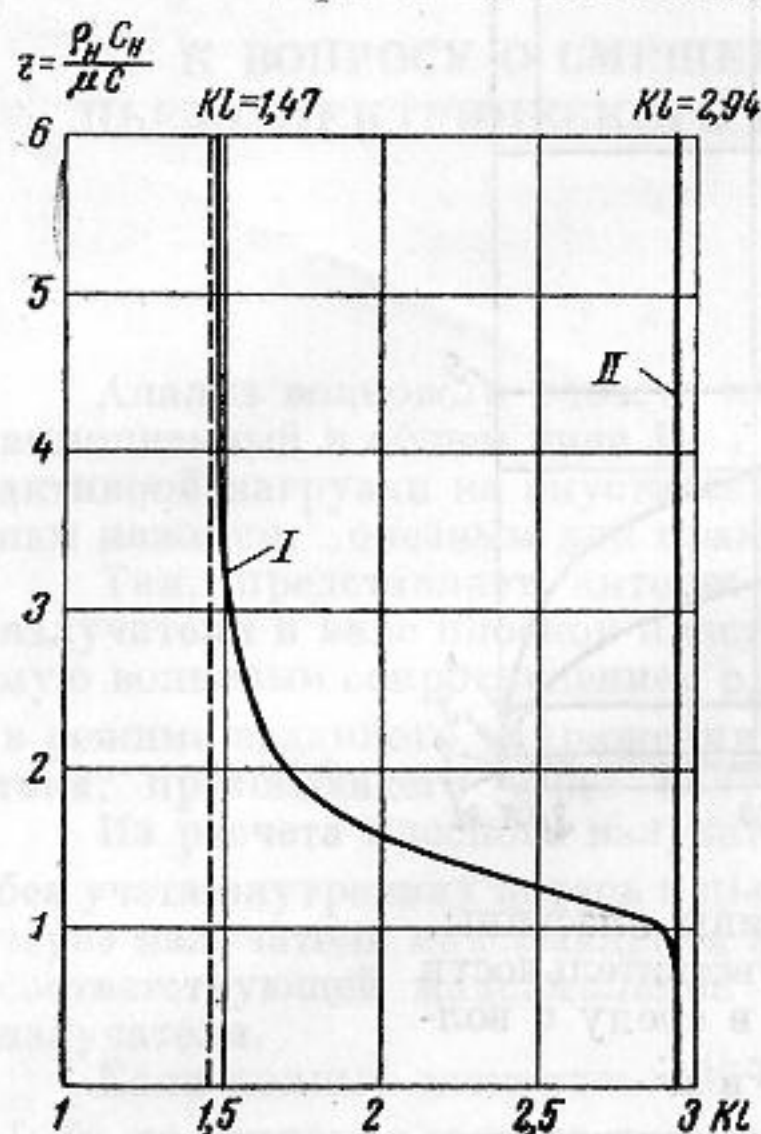
Значение 0,815 является для отношения $\frac{\rho_H c_H}{\mu c}$ критическим: излучатель с симметричной нагрузкой не имеет максимума r для всех значений $\frac{\rho_H c_H}{\mu c}$, больших, чем 0,815.

Наиболее часто используемым режимом работы излучателя является режим постоянства напряжения на обкладках пьезоэлектрика. При этом максимальная амплитуда на поверхности и соответственно максимальная акустическая мощность в среде будет создаваться на частоте, при которой достигает максимума активная составляющая электрической проводимости.

Если полную проводимость представить в виде $\frac{1}{z_{эл}} = a + jb$, то активная часть для случая симметричной нагрузки представляется выражением

$$a_{II} = \frac{2\beta z}{A} \cdot \frac{1}{\left(\frac{2\beta}{kl} - \operatorname{ctg} \frac{kl}{2}\right)^2 + z^2} \quad (5)$$

Фиг. 3. Расчет эффективной толщины пластины керамики титаната бария, соответствующей максимальной чувствительности по напряжению, при одностороннем излучении в среду с волновым сопротивлением $\rho_H c_H$



В этом случае частота, соответствующая a_{\max} , определяется коэффициентом электромеханической связи данного пьезоэлектрика, независимо от того, в среду с каким волновым сопротивлением он работает.

Условие $a = a_{\max}$ для симметрично нагруженного излучателя записывается в виде

$$\frac{1}{\beta} = \frac{2}{kl} \operatorname{tg} \frac{kl}{2} \quad (6)$$

На фиг. 2, II представлено положение резонансных частот для случая симметричной нагрузки излучателя, если резонансную частоту определить как частоту, при которой на поверхности пьезоэлектрика создается максимальная амплитуда (в среде соответственно максимальное давление и максимальная акустическая мощность) при постоянстве напряжения на обкладках излучателя.

Иначе обстоит дело в случае несимметричной нагрузки излучателя. При одностороннем излучении в среду с волновым сопротивлением $\rho_H c_H$ активная составляющая электрического импеданса определяется формулой:

$$a_I = \frac{\beta z}{A} \frac{\operatorname{tg}^2 \frac{kl}{2} (z^2 \operatorname{ctg}^2 kl + 1)}{\left[(z^2 \operatorname{ctg}^2 kl + 1) - \frac{\beta}{kl} \left(2 \operatorname{tg} \frac{kl}{2} + z^2 \operatorname{ctg} kl \right) \right]^2 + \left(z^2 \frac{\beta}{kl} \operatorname{tg}^2 \frac{kl}{2} \right)^2} \quad (7)$$

Частота, соответствующая a_{\max} , определяется в этом случае параметрами β и z . При $z \rightarrow 0$ условие $a = a_{\max}$ для одностороннего излучателя совпадает с таковым для случая симметрично нагруженного излучателя, т. е. справедливо уравнение (6); при больших значениях z положение a_{\max} для одностороннего излучателя определяется условием:

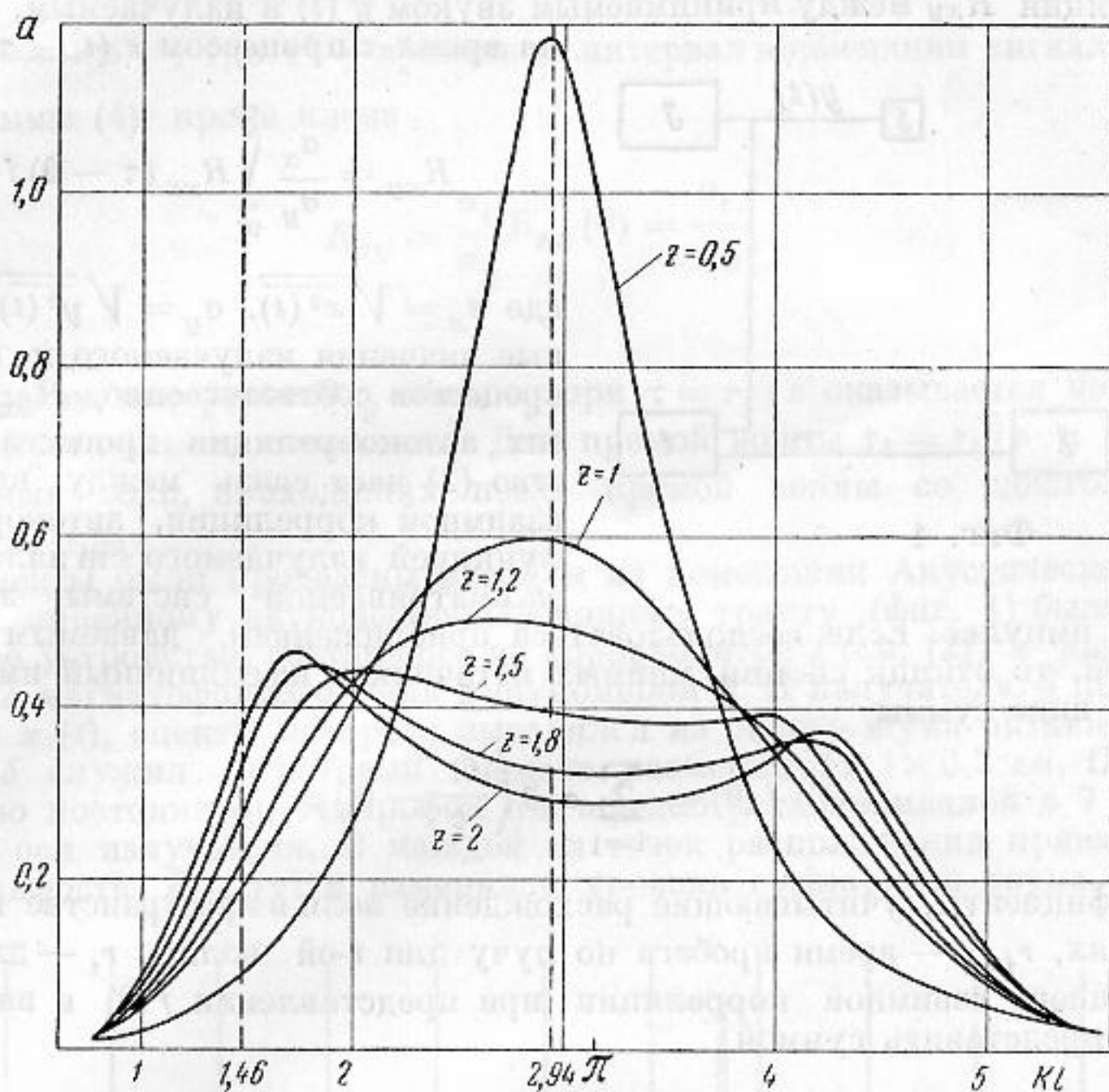
$$\frac{1}{\beta} = \frac{\operatorname{tg} kl}{kl} \quad (8)$$

которое представлено кривой I на фиг. 2

Заштрихованная область показывает пределы изменения частоты, которой определяется a_{\max} для одностороннего излучателя из пьезоэлектрика с данным коэффициентом электромеханической связи при работе его в различные среды.

В качестве примера на фиг. 3 показана зависимость от нагрузки частоты, соответствующей a_{\max} для плоского идеального излучателя из керамики титаната бария.

Характер изменения частотной зависимости активной составляющей электрической проводимости для излучателя из керамики титаната бария или из любого другого пьезоматериала с таким же коэффициентом электромеханической связи ($\beta = 0,148$), при работе в различных средах с большим $\rho_{II} c_{II}$ представлен на фиг. 4.



Фиг. 4

Приведенный расчет указывает на значительное влияние активной нагрузки на изменение резонансных частот плоского идеального излучателя по сравнению с резонансными частотами при работе излучателя без нагрузки с акустической стороны. Результаты расчета могут оказаться полезными при расчете режима работы пьезоэлектрика в твердую среду, например, при решении вопросов дефектоскопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Андреев. Расчет пьезоэлектрического передатчика. Сб. тр. Всесоюз. заочн. энергетич. института, 1951.
2. А. А. Апаньева. Расчет поршневого пьезоэлектрического излучателя без учета внутренних потерь. Отчет Акустического института АН СССР, 1954.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
29 мая 1957 г.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ОТНОШЕНИЯ

С. Г. Гериман, Е. Ф. Орлов

При рассмотрении некоторых архитектурно-акустических свойств помещений, например, диффузности звукового поля, качества воспроизведения звука, а также при энергетическом расчете звукового поля вводится понятие акустического отношения [1]. В данной заметке дается описание метода непосредственного измерения акустического отношения в помещении и приводятся некоторые полученные экспериментальные результаты.

Пусть в закрытом помещении работает линейный тракт звукопередачи, излучающий звуковой сигнал $x(t)$. На основании принципа суперпозиции для линейной си-