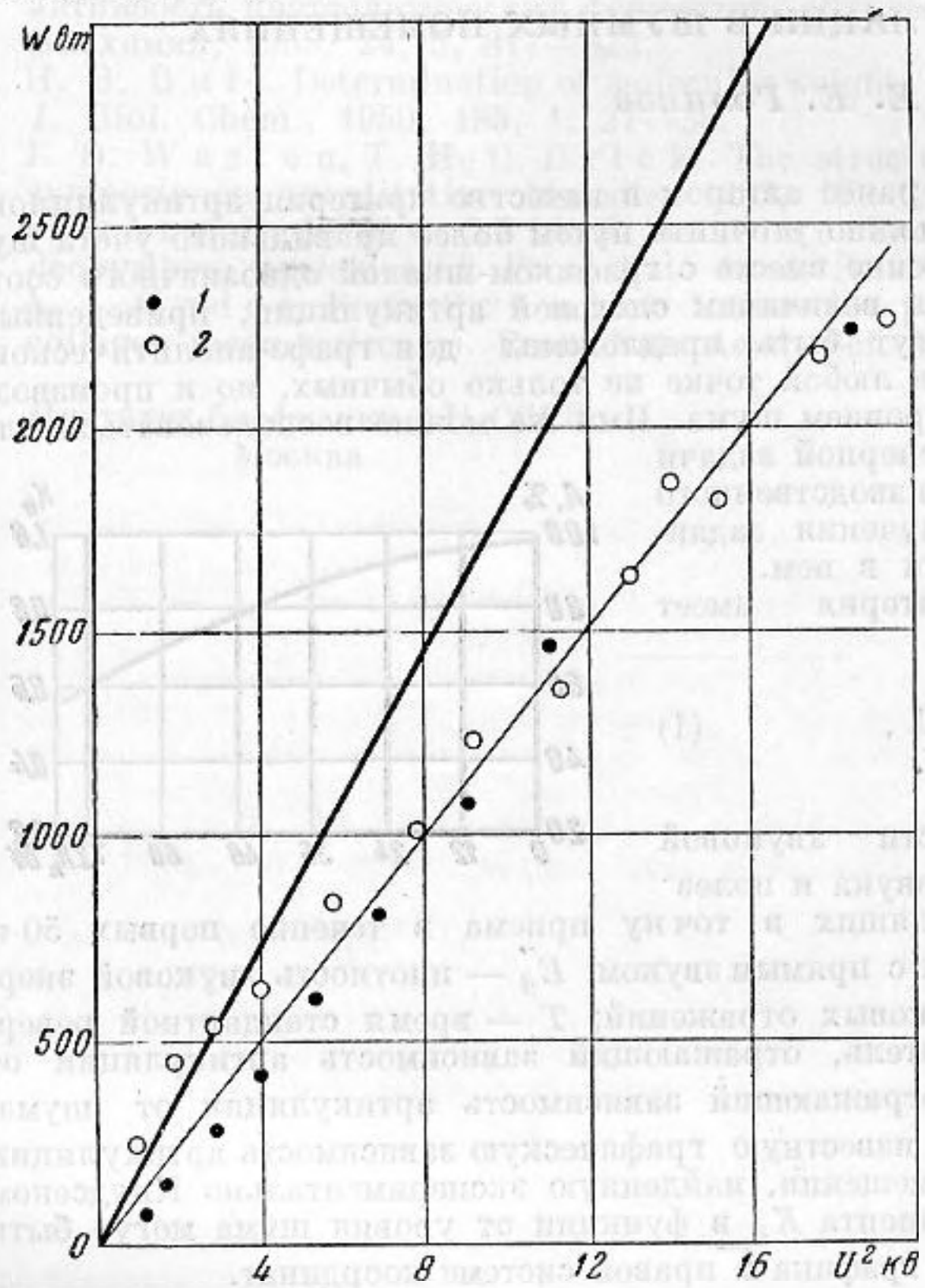
О БАЛАНСЕ ЭНЕРГИИ В КОНЦЕНТРАТОРЕ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

М. Г. Сиротюк

После предварительных испытаний концентратора, предназначенного для получения ультразвука высокой интенсивности, результаты которых были опубликованы в [1], количество кварцевых пластин было доведено до расчетной величины (210 штук). Увеличение угла раскрытия концентратора несколько уменьшило диаметр фокального пятна и повысило общую акустическую мощность. В процессе исследования концентратора представляло интерес выяснить, каков внутренний баланс мощности в концентраторе по отношению к подводимой к нему общей электрической мощности. Эта мощность расходуется как на полезное излучение, обусловленное сопротивлением излучения, так и на потери. Соответствующие коэффициенты преобразования могут быть выражены через механические добротности для разных состояний концентратора и через резонансные частоты.



Для выяснения этого вопроса нами было произведено измерение механической добротности обычным способом по механической или акустической кривой резонанса концентратора в четырех его различных состояниях:

1. «Сухой» концентратор — в отсутствие воды и масла. Относительная величина амплитуды колебания поверхности полуволновой алюминиевой пластины в зависимости от частоты измерялась при помощи датчика из титаната бария в виде шайбы (диаметр 3,5 *мм*; толщина 1,5 *мм*). Датчик приклеивался тонким слоем пластилина в различных точках на вогнутой стороне алюминиевой полусферы. Добротность концентратора измерялась по нескольку раз в каждой точке. 2. В пространство, где расположена кварцевая мозаика, залито масло. Относительная величина амплитуды колебаний измерялась так же, как и в первом случае. 3. В концентратор залита вода; из отсека, в котором расположена мозаика, масло слито. Относительная величина звукового давления измерялась приемником, помещенным в фокусе концентратора. 4. Концентратор залит водой, отсек, в котором расположена кварцевая мозаика, залит маслом (рабочее состояние). Относительная величина звукового давления измерялась так же, как и в предыдущем случае.

По полученным данным строились резонансные кривые и находились значения механических добротностей. В приводимой таблице выписаны средние значения механических добротностей и соответствующих им частот для четырех рассмотренных случаев.

Состояния концентратора	Частоты *кгц*	Механическая добротность	Примечание
1	$f_1=514,5$	$Q_1=68,7$	Добротность, обусловленная механическими потерями
2	$f_2=513,8$	$Q_2=50$	Добротность, обусловленная механическими потерями и излучением в масло
3	$f_3=511$	$Q_3=17,3$	Добротность, обусловленная механическими потерями и излучением в воду
4	$f_4=511$	$Q_4=7,4$	Добротность, обусловленная механическими потерями, излучением в масло и излучением в воду

На основании эквивалентной схемы концентратора можно написать следующие выражения для частных коэффициентов преобразования подводимой мощности: для мощности, излучаемой в воду

$$K_{ив} = 1 - \frac{Q_3 f_1}{Q_1 f_3},$$

для излучения в масло

$$K_{им} = 1 - \frac{Q_2 f_1}{Q_1 f_2},$$

для излучения в воду и в масло

$$K_{ивм} = 1 - \frac{Q_4 f_1}{Q_1 f_4}$$

и для механических потерь

$$K_{мп} = \frac{Q_4 f_1}{Q_1 f_4}.$$

Подставляя в эти выражения приведенные в таблице численные величины, мы получим, что излучение в воду составляет $K_{ив} = 74\%$; излучение в масло — $K_{им} = 26\%$; механические потери — $K_{мп} = 11\%$; излучение в воду и в масло — $K_{ивм} = 89\%$. Точность реальных коэффициентов лежит в пределах 10%; поэтому примем следующие средние значения: $K_{ив} = 65\%$; $K_{им} = 25\%$; $K_{мп} = 10\%$.

Преобразуя известное выражение, определяющее зависимость интенсивности звука кварцевого излучателя от его добротности [2], можно получить формулу:

$$I\ (вт\ /\ см^2) = 24{,}2 \cdot 10^{-9}\ \rho c Q_4^2 f^2 U^2,$$

где ρc (*г/сек/см*^{2}) — акустическое сопротивление среды, в которую происходит излучение, *f мгц* — резонансная частота, *U кв* — напряжение на кварце, Q_4 — механическая добротность излучателя.

Согласно этой формуле интенсивность звука у поверхности концентратора ($Q_4 = 7{,}4$; $f = 511$ *кгц*) при напряжении на мозаике, например, $U = 4$ *кв* будет равна $I = 0{,}83$ *вт/см*^{2}, а полная акустическая мощность должна составлять $W = 3000$ *вт* (площадь излучающей части полусферы — 3700 *см*^{2}).

Экспериментальное измерение полной акустической мощности производилось путем измерения давления излучения радиометром, поверхность которого находилась ниже фокуса на 16 *мм*. На фигуре приведена зависимость общей акустической мощности от квадрата напряжения на кварцевой мозаике. Обозначение *1* относится к измерениям радиометром с поглощающей поверхностью, *2* — радиометром с отражающей поверхностью. Экспериментальные результаты хорошо укладываются на прямую линию. Поскольку измерения производились радиометром с плоским диском, то измеренная величина давления будет несколько преуменьшена. Жирная линия проведена с учетом этой поправки.

Сравнивая величину мощности, полученную по формуле (3000 *вт*) с мощностью, измеренной экспериментально при том же напряжении на мозаике (4 *кв*) мы видим, что измеренное значение полной акустической мощности (2870 *вт*) отличается от вычисленного меньше, чем на 5%.

Автор выражает благодарность Л. Д. Розенбергу за ряд полезных советов и В. П. Шестерневу за помощь в измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Розенберг, М. Г. Сиротюк. Установка для получения фокусированного ультразвука высокой интенсивности. Акуст. ж., 1959, 5, 2, 206—211.
2. F. E. Fox, V. Griffing. Experimental investigation of ultrasonic intensity gain in water due to concave reflection. J. Acoust. Soc. America, 1949, 21, 4, 352—359.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
28 апреля 1960 г.