

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. В. КАЗАНЦЕВА

**ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ АБСОЛЮТНОЙ ГРАДУИРОВКИ
ЗВУКОПРИЕМНИКОВ МЕТОДОМ ВЗАИМНОСТИ**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 23 VII 1947)

В литературе описаны способы абсолютной градуировки звукоприемников методом взаимности⁽¹⁻⁵⁾ в свободном поле и в камере малой по сравнению с длиной звуковой волны. В настоящей работе излагается способ градуировки в трубе длиной не менее половины звуковой волны. При этом получают некоторые особенности, которые в известных случаях могут представлять преимущества. Особенности эти следующие: при соответствующем выборе дискретного ряда частот можно получить: а) независимость от частоты отношения чувствительности обратимого электроакустического преобразователя как приемника к чувствительности его как излучателя; б) возможность исключения влияния на результаты градуировки импедансов преобразователей, приключенных к трубе; в) возможность производить измерения модуля акустического импеданса преобразователей.

Кроме того, способ градуировки в трубе имеет преимущество перед градуировкой в камере, малой по сравнению с длиной волны, в отношении удобства размещения преобразователей.

В случае трубы, так же как обычно при градуировке методом взаимности, требуется, кроме градуируемого электроакустического преобразователя, наличие двух вспомогательных: одного обратимого, удовлетворяющего условиям взаимности, и другого, не обязательно обратимого, используемого только в качестве излучателя. Производятся два опыта.

1. Градуируемый и вспомогательный обратимый преобразователи поочередно помещаются на конце трубы, у твердой стенки, закрывающей этот конец. К началу трубы, через трубку, впаянную в твердую стенку, закрывающую начало, приключается вспомогательный преобразователь — источник звука. Производится измерение напряжений холостого хода E (т. е. напряжений, развиваемых преобразователями при разомкнутой электрической цепи) первых двух преобразователей, работающих в качестве приемников. Отношение этих напряжений при условии, что действующее на преобразователи звуковое давление одно и то же, дает отношение чувствительностей холостого хода M градуируемого и вспомогательного преобразователей, т. е.:

$$\left(\frac{E_x}{E_{об}}\right)_1 = \frac{M_x}{M_{об}}, \quad (1)$$

где значок „x“ относится к объекту градуировки, а значок „об“ — к обратимому преобразователю.

2. Источник звука, работавший в первом опыте, убирается и на его место у твердой стенки, закрывающей начало трубы, помещается обращенный в источник преобразователь. Производится измерение отношения напряжения холостого хода градуируемого звукоприемника, помещенного на конце трубы, к току в цепи обращенного в источник преобразователя. Это отношение, умноженное на H и на численный коэффициент, согласующий единицы измерения, дает произведение чувствительностей градуируемого и вспомогательного преобразователей, т. е.

$$10^{-7} \left(\frac{E_x}{I_{06}} \right)_{II} H = M_x M_{06}, \quad (2)$$

где H имеет размерность акустической проводимости, содержит в себе параметры трубы и представляет собой отношение чувствительности обратного преобразователя как приемника к чувствительности его как излучателя. Последняя определяется как отношение звукового давления на конце трубы (в месте приключения градуируемого преобразователя) к току в обратимом преобразователе. При условии,

что $\frac{R^2}{Z_x Z_{06}} \ll 1$, где $R = \rho c / S$ — волновое сопротивление трубы, Z_x

и Z_{06} — акустические импедансы холостого хода (т. е. при разомкнутой электрической цепи) градуируемого и обратимого преобразователей, и при условии, что потерями в трубе можно пренебречь:

$$H = \left[j \frac{1}{R} \sin kl - \left(\frac{1}{Z_{06}} + \frac{1}{Z_x} \right) \cos kl \right].$$

Искомая абсолютная чувствительность градуируемого преобразователя M_x в вольт/бар из (1) и (2) равна:

$$M_x = \left\{ 10^{-7} \left(\frac{E_x}{E_{06}} \right)_I \left(\frac{E_x}{I_{06}} \right)_{II} \left[j \frac{1}{R} \sin kl - \left(\frac{1}{Z_{06}} + \frac{1}{Z_x} \right) \cos kl \right] \right\}^{1/2}, \quad (3)$$

где k — волновое число, l — длина трубы.

Выбирая дискретный ряд частот так, что $\cos kl = 0$, можно исключить влияние на результаты измерения акустических импедансов преобразователей, подключенных к трубе. В этом случае $H = 1/R = S/\rho c$.

Если, кроме того, произвести измерения E_x/I_{06} , выбирая частоты так, что $\sin kl = 0$, то получается возможность определения модулей акустических импедансов преобразователей.

Нужные частоты легко находятся экспериментально по минимумам звукового давления на конце трубы для случая $\cos kl = 0$ и по максимумам звукового давления на конце — для случая $\sin kl = 0$.

На рис. 1 приведен пример абсолютной градуировки сегнетового пьезомикрофона этим способом в диапазоне частот от 200 до 1000 Hz (точки). Для сравнения приводится результат градуировки того же микрофона методом диска Рейли в резонансной трубе (крестики). Сравнение показывает хорошее совпадение обоих методов.

Верхний предел используемых частот ограничен возникновением поперечных волн в трубе. Диаметр трубы должен быть мал по сравнению с длиной звуковой волны. В приводимом примере применялась труба диаметром 10,5 см. Расширение диапазона в сторону высоких частот может быть легко осуществлено заполнением трубы водородом, а также применением трубы меньшего диаметра.

При наличии заметных потерь в трубе последние могут быть определены экспериментально (например по ширине резонансной кривой) и соответствующим образом учтены.

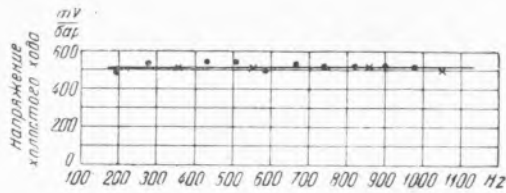


Рис. 1

Изложенный способ допускает автоматизацию измерений путем записи на пишущем приборе.

Выражаю глубокую благодарность моему руководителю члену-корреспонденту АН СССР Н. Н. Андрееву, по инициативе которого выполнена настоящая работа.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии Наук СССР

Поступило
23 VII 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ W. R. Mac Lean, J. Acoust. Soc. Am., 12, № 1, 140 (1940). ² Richard K. Cook, *ibid.*, 12, No. 3, 415 (1941). ³ Richard K. Cook, J. Research of Nat. Bur. of Standards, 25, No. 5, 489 (1940). ⁴ H. Olson, RCA Rev., 6, 36 (1941). ⁵ A. L. D. Mattia and F. M. Wiener, J. Acoust. Soc. Am., 18, № 2, 341 (1946).