

УДК 534.62

## ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЯ ЗАГЛУШЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

*А. Н. Ривин*

При проведении испытаний звукопоглощающей отделки звукомерных камер, гидроакустических бассейнов и других заглушенных измерительных помещений обычно применяют способ оценки качества звукопоглощающей отделки, основанный на измерении пространственных неравномерностей звукового поля [1—4]. Измерительный приемник перемещают при помощи специально созданных приспособлений внутри помещения в различных направлениях, постепенно удаляя от излучателя, и проводят автоматическую запись уровня звукового давления. Такие записи, характеризующие закон убывания звукового давления в помещении, сравнивают затем с нормальным для бегущей сферической волны законом изменения звукового давления обратно пропорционально расстоянию и определяют неравномерности звукового поля, возникающие вследствие отражения волн на границах помещения [3].

Определенные таким способом пространственные неравномерности не позволяют, однако, непосредственно оценить погрешности при измерении частотных характеристик электроакустической аппаратуры и проведении других видов испытаний, при которых излучатель и приемник устанавливаются неподвижно в определенных точках помещения.

В связи с этим было бы удобно использовать для оценки качества заглушения измерительных помещений записи частотных неравномерностей звукового поля, выполненные в обычно используемых для проведения измерений местах рабочей зоны испытуемого помещения. Такие записи могут быть легко осуществлены при помощи стандартного комплекса измерительной аппаратуры для автоматической записи частотных характеристик. При использовании ненаправленных преобразователей, имеющих равномерные частотные характеристики, записанные при проведении таких измерений флюктуации напряжения на выходе приемника, непосредственно характеризуют вероятные погрешности определения чувствительности, обусловленные наличием отраженных волн.

Эти записи могут быть использованы также для определения усредненного коэффициента поглощения звука и акустического отношения. Для этого можно воспользоваться тем, что статистическая теория акустики помещений позволяет установить аналитическую зависимость между вероятностью появления в точке приема различных уровней звукового давления при случайных изменениях частоты и величиной акустического отношения в этой точке звукового поля. При приходе в точку приема большого числа отраженных волн с различными амплитудами и случайными фазами, распределение вероятности появления различных значений суммарного звукового давления описывается уравнением Рэлея:

$$P(p' > p) = \exp(-p^2 / \bar{p}^2), \quad (1)$$

где  $\bar{p}^2 = \frac{4\rho c P_{\text{ак}}(1-\alpha)}{\alpha S}$  — средний квадрат звукового давления в поле от-

раженных волн, зависящий от величины излучаемой в помещении акустической мощности  $P_{\text{ак}}$ , среднего коэффициента поглощения звука  $\alpha$  и площади внутренних поверхностей помещения  $S$ .

Распределение вероятности появления различных амплитуд результирующего звукового давления, получающегося в результате сложения прямой волны, приходящей от излучателя звука, с волнами, отраженными от внутренних поверхностей помещения, описывается уравнением Рэля только вдали от излучателя — там, где акустическое отношение мало и присутствие прямой волны не оказывает существенного влияния на флуктуации звукового давления в точке приема. При приближении к излучателю распределение вероятностей появления различных амплитуд результирующего звукового давления перестает соответствовать уравнению Рэля и начинает зависеть от величины акустического отношения

$$K^2 = \frac{p_0^2}{\bar{p}^2} = \frac{\alpha S}{16\pi(1-\alpha)d^2}, \quad (2)$$

где  $d$  — расстояние между излучателем и приемником.

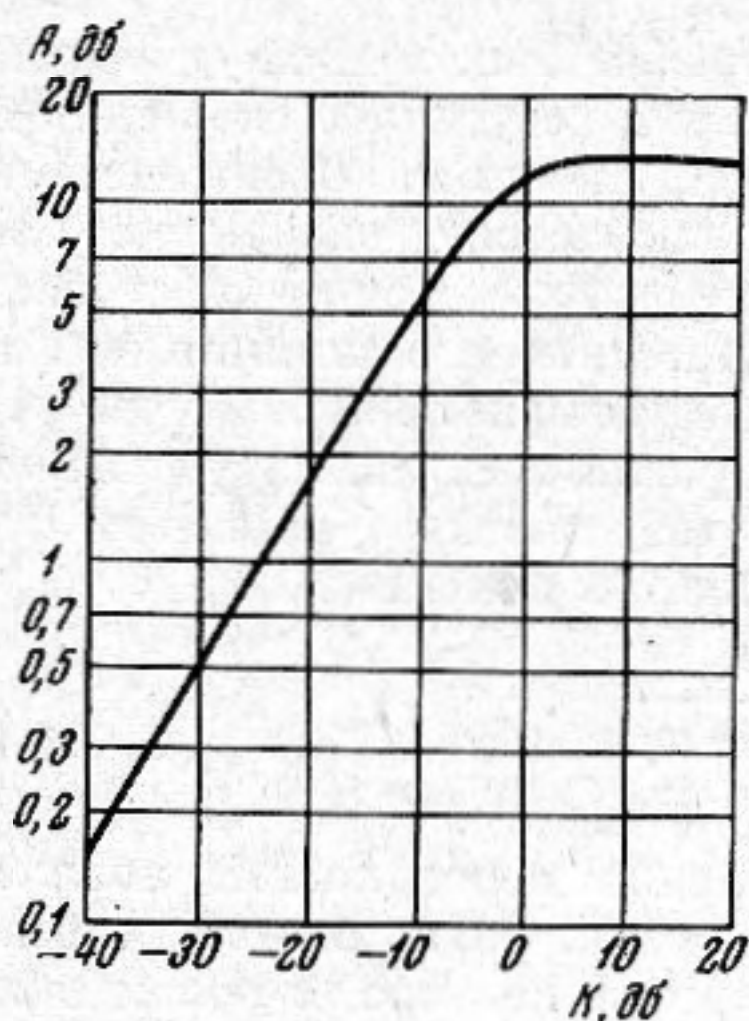
Соотношения, определяющие распределение вероятностей появления различных амплитуд при сложении отраженных волн, имеющих рэлеевское распределение амплитуд и фаз суммарного вектора, с полем прямой волны, имеющим постоянную амплитуду и фазу, подробно рассмотрено в работе Нортона, Фоглера, Мансфельда и Шорта [5] применительно к случаю сложения электромагнитных волн в тропосфере. Полученные ими приближенные расчетные соотношения и графики могут быть, как это показано в работах Дистеля [6, 7], с успехом применены для определения распределения вероятности появления различных уровней результирующего звукового давления в помещениях.

В удобном для проведения практических расчетов виде зависимость между величиной частотных неравномерностей звукового давления в точке проведения измерений и величиной соответствующего этой точке акустического отношения представлена на фиг. 1, заимствованной из работы [5]. Неравномерности звукового поля характеризуются на графике выраженной в децибелах разностью уровней  $A = R(0,1) - R(0,9)$ , отвечающей условию, чтобы вероятности отклонения флюктуирующего сигнала за пределы, ограниченные этими уровнями, вверх либо вниз составляли не более чем 10%. График фиг. 1 позволяет установить связь между величиной акустического отношения в точке проведения измерений и размахом флуктуаций уровня результирующего звукового давления, записанных при проведении измерений в этой точке. Используя эту зависимость и определив по записанной в испытуемом помещении частотной характеристике разность уровней  $A$ , можно, пользуясь графиком, найти соответствующее этой разности акустическое отношение и усредненное значение коэффициента поглощения звука на границах помещения

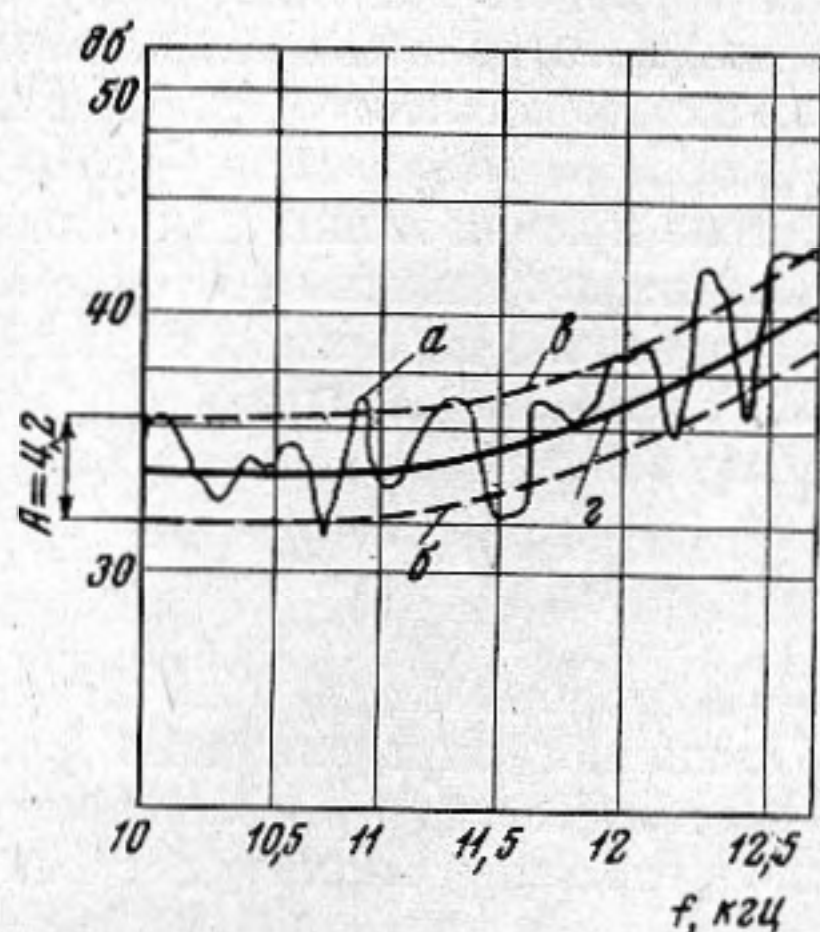
$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{S}{16\pi K^2 d^2}}. \quad (3)$$

При проведении измерений в заглушенных помещениях на приемник действуют практически только волны первых отражений и число приходящих в точку приема волн значительно сокращается. В связи с этим возможность использования графика фиг. 1, соответствующего случаю сложения большого числа волн с приблизительно одинаковыми амплитудами и случайными фазами, для оценки качества заглушения таких помещений может вызывать сомнения и требует более детальной проверки с учетом конкретных условий проведения измерений. При этом следует исходить

прежде всего из того, в какой степени сокращение числа отраженных волн приводит к нарушению рэлеевского распределения вероятностей появления амплитуд суммарного звукового давления отраженных волн. Подробные исследования, выполненные в посвященной этому вопросу работе Гринвуда и Дуранда [8], показали, что распределение вероятностей, прак-



Фиг. 1



Фиг. 2

тически не отличающееся от рэлеевского закона, получается при сложении в точке приема четырех и более отраженных волн с приблизительно одинаковыми амплитудами и случайными фазами. Такое количество отражений может быть получено практически при проведении измерений в центральной зоне испытываемого помещения, когда излучатель и приемник удалены на приблизительно одинаковые расстояния от четырех его внутренних поверхностей, облицованных одинаковым звукопоглощающим покрытием.

Для определения акустического отношения на выполненную в этом месте помещения запись частотных неравномерностей (фиг. 2, а) наносят линии уровней  $R(0,1)$  б и  $R(0,9)$  в. Правильность положения этих линий проверяют, измеряя сумму по абсциссе отрезков, отсекаемых на них кривой частотных неравномерностей в тех участках, где эта кривая проходит выше уровня  $R(0,1)$ , либо ниже уровня  $R(0,9)$ . Суммарная длина измеренных таким образом отрезков в линейном масштабе частот должна быть для обеих линий равна 10% от полной длины обрабатываемого участка записи, выбираемого обычно равным  $1/3$  октавы. Расстояние между нанесенными таким образом линиями соответствует  $A$  в выбранном при проведении записи масштабе.

Преимуществом описанного способа обработки записей частотных неравномерностей звукового поля, по сравнению со способом, описанным Дистелем в работе [7] и основанным на вычислении математического ожидания и дисперсии записанных частотных неравномерностей, является то, что графический способ определения разности уровней  $A$  может быть с успехом применен также и в том случае, когда используемые для проведения измерений излучатель и приемник звука имеют неравномерные частотные характеристики, приводящие к появлению дополнительной частотной неравномерности. В этом случае, однако, для устранения погрешностей в определении частотных неравномерностей звукового поля в помещении нужно дополнительно произвести запись частотной характеристики в условиях, исключающих воздействие на приемник отраженных волн. При проведении испытаний гидроакустических бассейнов такие условия могут быть обеспечены путем проведения дополнительного измере-

ния в импульсном режиме. В заглушенных звукомерных камерах аналогичный результат можно получить путем дополнительной записи частотной характеристики на небольших расстояниях от излучателя.

На фиг. 2 приведены частотные характеристики, записанные при испытании звукопоглощающей отделки гидроакустического бассейна при помощи ненаправленного излучателя, имеющего неравномерную частотную характеристику. Кривая *a*, записанная в режиме непрерывного излучения, показывает изменения напряжения на выходе приемника, происходящие как из-за наличия отражений от стен бассейна, так и вследствие неравномерности частотной характеристики излучателя. Величину последних неравномерностей характеризует кривая *г*, записанная в импульсном режиме в том же масштабе, что и кривая *a*. Линии *б* и *в*, соответствующие уровням  $R(0,1)$  и  $R(0,9)$  и характеризующие величину частотных неравномерностей звукового поля в бассейне, проводятся параллельно линии *г*.

Описанный сравнительно простой способ графического определения величины  $A$ , характеризующей частотные неравномерности поля в помещении, исключает необходимость выполнения расчетов, связанных с определением математического ожидания и дисперсии частотных неравномерностей, что существенно упрощает проведение исследований покрытий в заглушенных помещениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 7223-55 «Микрофоны и громкоговорители, методы электроакустических испытаний».
2. Стандарт США 24-24-1957 «American standard procedures for calibration of electroacoustic transducers particularly Those for use in Water».
3. А. Н. Ривин. Заглушенная звукомерная камера. Акуст. ж., 1961, 7, 3, 324—336.
4. D. Shorter, G. Gilford. The acoustic design and performance of a new free-field sound measurement room. BBS Engr. Div. Monogr., 1965, 59, 23.
5. K. Norton, L. Vogler, W. Mansfield, P. Short. The probability distribution of the amplitude of a constant vector plus a Rayleigh. Distributed Vector. Proc. IRE., 1955, 43, 10, 1354—1361.
6. H. Distel. Zur Schallausbreitung in reflexionsarmen Raumen, Acustica, 1962, 12, 113—118.
7. H. Distel. Probability distribution of sinusoidal sound pressure in a Room. J. Acoust. Soc. America, 35, 12, 2019—2022.
8. J. Greenwood, D. Durand. The distribution of length and component of the Sum of «n» random unit Vectors. Ann. Math. stat., 1955, 26, 233—246.

Акустический институт АН СССР  
Москва

Поступила в редакцию  
28 января 1966 г.