

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Л. А. БОРИСОВ, Ю. А. ГАСПАРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПЕДАНСА
ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ

Теоретические и экспериментальные исследования объемных акустических элементов, выполненных в виде сферы, показали возможность расчета характеристик звукопоглощения такого элемента, если задан входной импеданс его поверхности [1]. Однако в последнее время широкое распространение получили объемные элементы других форм, весьма далеких от сферической, и это вызвало определенные трудности при определении импеданса поверхности элементов из-за сложности математического описания процессов, протекающих внутри элемента при падении на его поверхность плоской звуковой волны.

Известно [2], что высокие коэффициенты звукопоглощения в широкой области частот обеспечиваются в тех случаях, когда конструкция элемента предусматривает последовательное чередование слоев материалов с различными волновыми параметрами. Наиболее подходящей парой является «волокинистый материал—воздух», волновые параметры которых существенно разнятся. Импеданс такой плоской системы слоев может быть без труда вычислен по номограммам [3] или путем последовательного сложения импедансов на границах сред по известной формуле:

$$Z_1 = W \frac{Z_2 \operatorname{ch} \gamma l + W \operatorname{sh} \gamma l}{Z_2 \operatorname{sh} \gamma l + W \operatorname{ch} \gamma l}, \quad (1)$$

где W , γ — волновое сопротивление и постоянное распространение волокинистого материала; l — толщина слоя материала; Z_1 и Z_2 — импедансы у передней и задней плоскостей системы, соответственно.

В случае объемного элемента несферической формы такие вычисления затруднены, т. к. звуковая волна падает под разными углами на отдельные грани элемента. Кроме того, внутри элемента возможно образование замкнутых полостей, импеданс которых вычислению не поддается.

Для определения входного импеданса такого элемента был предложен способ, основанный на его непосредственном измерении в узкой

области частот и последующем построении частотной характеристики импеданса во всей области нормируемого диапазона частот.

Объемный элемент кубовидной формы с внутренней полостью и щелью на одной из граней помещался в трубу акустического интерферометра сечением 25×25 см. В диапазоне частот 63—630 Гц проводились измерения импеданса и результаты графически представлялись на плоскости R , Y и f , где R , Y — активные и реактивные составляющие импеданса $Z = R + jY$ (рис. 1). Реактивная часть суммарного импеданса, учитывающего все факторы, как и в случае импеданса плоского слоя, представляется графиком функции $Y = \lg x$, с характерным пересечением оси абсцисс в точке, соответствующей частоте первого резонанса элемента. На этой же оси точки, соответствующие резкому возрастанию значений величины $Y(f)$ определяют частоты антирезонанса импеданса элемента (в этих же точках находятся и вертикальные асимптоты функции $Y(f)$).

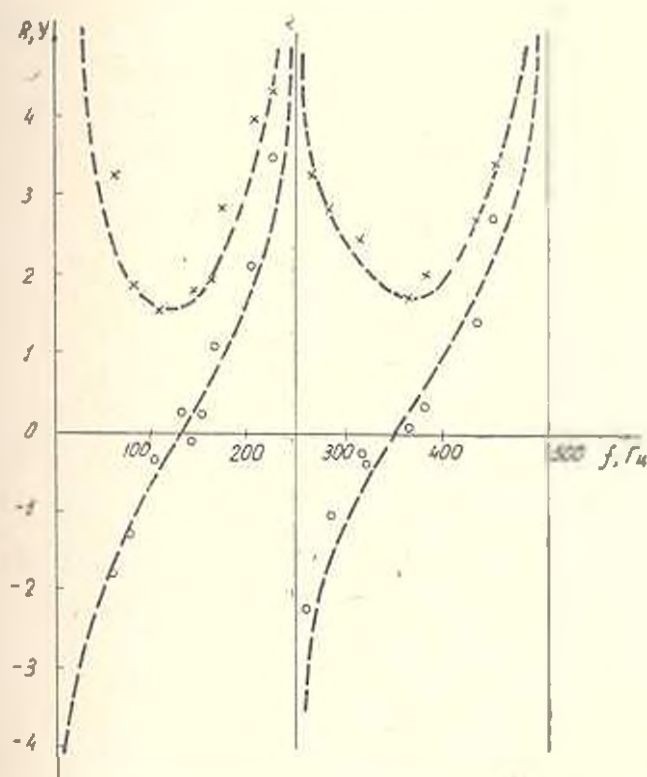


Рис. 1. Характеристика импеданса $Z(f)$ объемного элемента:

— $\times$ — R , $f_{\text{рез}} = 120$ Гц; — o — Y , $f_{\text{антирез}} = 250$ Гц.

Активные составляющие импеданса $R(f)$ в том же диапазоне частот представляется падающей параболой с вершиной в точке $f_{\text{рез}}$.

Импедансные характеристики объемных акустических элементов произвольной формы решены и графически построены на ЭВМ с помощью алгоритмического языка «Фортран».

На рис. 1 показана одна из частотных характеристик импеданса элемента, изготовленного из ультрасупертонкого базальтового волокна. Акустический элемент торцевой стороной обращен к падающей плоской звуковой волне, а целью, соединяющей внутреннюю полость с наружным воздухом — к жесткой стенке. Это ближе всего соответствует случаю размещения плоского слоя на некотором отnose L воздушном промежутке от жесткой стенки. Подмеченная аналогия (она наблюдалась при исследованиях всех объемных элементов) позволяет точно определить значения R , Y по известным волновым параметрам материала, из которого изготовлены стенки элемента.

Без потери общности положим: $L = 0$ и тогда, зная W и γ материала, найдем составляющую импеданса $R_{\text{рез}}$. Импеданс слоя может быть вычислен по формуле:

$$Z_{\text{сл}} = W \operatorname{cth} \gamma l = R + jY. \quad (2)$$

Подставим в (2) значения $W = W_a + jW_r$ и $\gamma = \alpha + j\beta$, где W_a , W_r , α , β — активные и реактивные составляющие волнового сопротивления и постоянные распространения материала слоя. Проведя некоторые преобразования гиперболического котангенса и поскольку на частоте резонанса $Y = 0$, получим значение $R_{\text{рез}} = a/b$, где

$$\begin{cases} a = W_a \operatorname{ch} \alpha l \operatorname{sh} \alpha l + W_r \sin \beta l \cos \beta l; \\ b = \operatorname{sh}^2 \alpha l \cos^2 \beta l + \operatorname{ch}^2 \alpha l \sin^2 \beta l. \end{cases} \quad (3)$$

Для построения графика функции $Z(f)$ следует определить все характерные точки $f_{\text{рез}_1}, \dots, f_{\text{рез}_n}, f_{\text{анрез}_1}, \dots, f_{\text{анрез}_m}$:

$$\begin{cases} f_{\text{рез}_n} = n f_{\text{рез}_1}; \\ f_{\text{анрез}_m} = m f_{\text{рез}_1}, \end{cases} \quad (4)$$

где $n = 1, 3, 5, 7, \dots$, $m = 2, 4, 6, 8$, а $f_{\text{рез}_1}$, определяются экспериментально. Значение $R_{\text{рез}}$, также находят из графика рис. 1. Последующие значения $R_{\text{рез}_n}$ определяют по формуле:

$$R_{\text{рез}_n} = K R_{\text{рез}_1}^n, \quad (5)$$

где $R_{\text{рез}_1}^n$ — значение величины, вычисленное по (3) по известным W и γ , а $K = R_{\text{рез}_1}^3 / R_{\text{рез}_1}^m$ — коэффициент пропорциональности. Введение коэффициента обусловлено тем, что при теоретическом вычислении $R_{\text{рез}_1}^m$ определяется значение величины, характерное для простейшего случая размещения слоя звукопоглощающего материала, а экспериментальное значение $R_{\text{рез}_1}$ включает все особенности, характерные для объемного элемента.

Установив координаты указанных точек на оси абсцисс, строим частотную зависимость импеданса $Z(f)$ во всем диапазоне частот и по

ней определяем частотную зависимость коэффициента звукопоглощения $\alpha(f)$.

Следует отметить, что на частотах антирезонанса провалы в графике функции $\alpha(f)$ теоретически должны достигать нуля. Практически этого не происходит из-за наличия потерь в колебательной системе объемного элемента и поэтому в качестве $\alpha_{\max}$ можно принять значение, вычисленное для частоты, близкой к частоте первого антирезонанса. В остальном диапазоне частот значения $\alpha_{\min}$ располагают параллельно линии $\alpha_{\max}$. В качестве примера построим зависимость для объемного элемента, стенки которого толщиной $l = 4$ см выполнены из базальтового волокна с плотностью $\rho = 15 \text{ кг/м}^3$. Как следует из рис. 1, $f_{\text{рез}} = 125 \text{ Гц}$, а последующие резонансные и антирезонансные точки составляют ряды — 375, 625, 875, 1125, 1525, 1875, 2025 Гц и 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 2000 Гц.

Вычислим значения $R_{\text{рез}}$ для частот 125 и 2025 Гц по волновым параметрам базальтового волокна и, сопоставив с экспериментом результат вычисления для частоты 125 Гц, найдем $K = 0,75$.

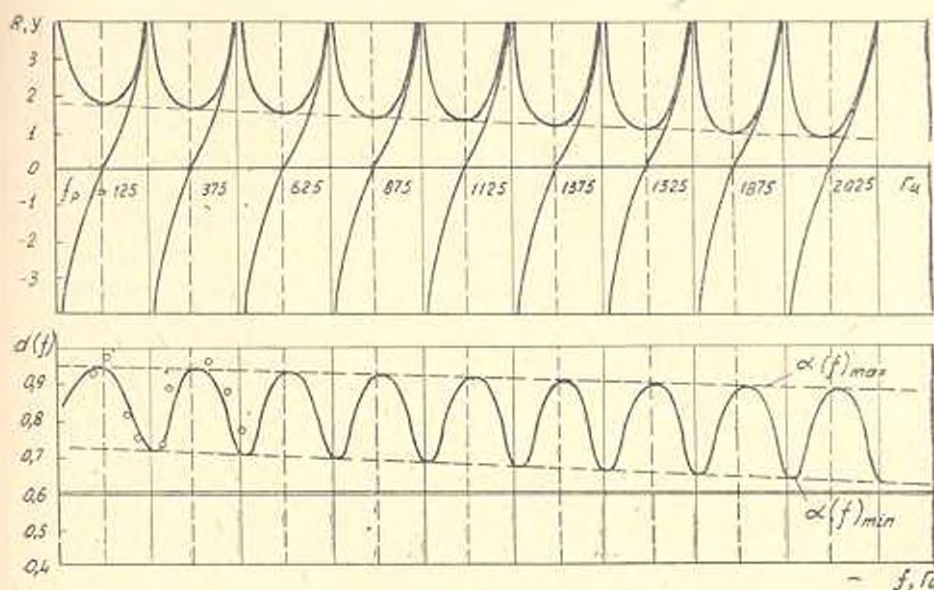


Рис. 2 Пример построения частотных характеристик импеданса $Z(f)$ и коэффициента звукопоглощения $\alpha(f)$ объемного элемента произвольной формы.

Нанесем все характерные точки на график с координатными осями R , Y и f и построим зависимость $Z(f)$. Далее, вычисляя по известной формуле значение

$$\alpha(f) = \frac{4R}{(R+1)^2 + Y^2} \quad (6)$$

построим зависимость на графике и осях α и f .

Пример построения показан на рис. 2. Там же точками показаны значения $\alpha(f)$, определенные экспериментально. Как следует из рисунка

ка, зависимость коэффициента звукопоглощения (КЗП) объемного элемента от частоты в поле плоской волны имеет характерные подъемные и провалы. В звуковом поле из-за появляющейся угловой зависимости импеданса провалы в $\alpha(f)$ не будут столь явными и объемный элемент будет характеризоваться высоким коэффициентом звукопоглощения в широкой области звуковых частот, где КЗП не ниже 0,6.

Полученные результаты показывают возможность применения метода геометрических построений импеданса для расчета характеристик звукопоглощения широкого класса объемных элементов сложной структуры.

ЕрПН им. К. Маркса

28. X. 1983

Լ. Ա. ԲՈՐԻՍՈՎ, ՅՈՒ. Ա. ՎԵԼԻՋԱՆԻՆԱ

ՍԱՎԱԼԱՅԻՆ ԱՎՈՒՍՏԻԿԱԿԱՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ԻՄՊԵԴԱՆՍԻ ՀԱՃԱՆԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԵՐԿՐԱԶՍՓԱԿԱՆ ԿԱԹՈՒՑՈՒՄՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Պարզարանված են ջանկացած ձևի ծավալային ակուստիկական էլեմենտների ինտեգրալային իմպեդանս բնութագրերի արդյունքները:

Տեսականորեն ուսումնասիրված է բարդ կառուցվածքի ծավալային ակուստիկական էլեմենտների հաճախական բնութագրերի որոշման ժամանակ ակտիվ իմպեդանսի մեծության կիրառման սեռակաները:

Որոշված են երկրաչափական ձևերի և շափերի ապոկցության աստիճանը ակուստիկական բնութագրերի վրա և ձայնային հաճախականության լայն տիրույթում տվյալ երևույթի օգտագործման հնարավորությունը՝ ձայնակլանման մեծ զործակցով բնութագրվող մեծածավալ ակուստիկական էլեմենտների ստեղծման ժամանակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Борисов Л. А., Велижанина К. А. Объемные поглотители звука.— В сб. Тр. VI Всесоюзной акустической конференции.— М.: 1968, с. 75—78.
2. Ржевский С. И. Курс лекций по теории звука.— М.: Изд. МГУ, 1960.— 336 с.
3. Морз Ф. Колебания и звук.— М.: ИЛ, 1949.— 496 с.