

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ю. А. ГАСПАРЯН, А. Г. МАНУЧАРЯН

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗОНАНСНОГО
 ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯ С ВНУТРЕННЕЙ УПРУГО ОПЕРТОЙ
 ПАНЕЛЬЮ

Для смещения основной резонансной частоты объемного резонансного звукопоглотителя (ОРЗП) в сторону низких частот необходимо увеличение инерционности, в частности, присоединенной массы входного отверстия резонатора, которое осуществляется за счет дифракционных эффектов экрана, уменьшения глубины резонирующей полости и т. д. [1—3]. В работе [4] предложен новый способ смещения основной резонансной частоты путем установки внутри звукопоглотителя панели на упругих опорах-прокладках. Акустическая эффективность этого предложения заключается в том, что односекционные резонансные поглотители вблизи собственной резонансной частоты элемента имеют узкополосное звукопоглощение в отличие от двухсекционных (ОРЗПП), имеющих сравнительно более широкую полосу звукопоглощения за счет дополнительных потерь, возникающих в упругих прокладках. Комбинированный импеданс ОРЗПП, согласно электроакустической аналогии при последовательном соединении двух секций резонатора определяется следующим выражением:

$$Z_k = Z_{p_1} + \frac{\operatorname{ctg}^2(kl_1) |R_{p_2} - j[y_{p_2} - \operatorname{ctg}(kl_1) - \operatorname{ctg}(kl_2)]|}{R_{p_2} + j[y_{p_2} - \operatorname{ctg}(kl_1) - \operatorname{ctg}(kl_2)]} \quad (1)$$

С целью определения входного импеданса Z_{p_1} , активных и реактивных компонент R_{p_1} , Y_{p_1} ОРЗПП применим метод сшивания импедансных характеристик [1, 5]. В рассматриваемом случае механический импеданс первой секции резонатора без податливой панели со стороны входного отверстия будет равен:

$$Z_p = -jS_0 \omega \rho \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{F_n(r_0/R)}{k_n} \operatorname{ctg}(k_n l) + \left(\frac{r_0}{R}\right) \operatorname{ctg}(k_n l) \right] + 2\delta_i \quad (2)$$

где

$$F_n\left(\frac{r_0}{R}\right) = \frac{4J_1^2(b_n r_0)}{(b_n R)^2 J_0^2(b_n R)}; \quad k_n^2 = k^2 - b_n^2; \quad a_n^2 = \left(\frac{f_{01}}{f}\right)^2 - 1;$$

$$S_0 = \pi r_0^2; \quad S = \pi R^2.$$

Здесь $J_0(b_n R)$, $J_1(b_n R)$ — цилиндрические функции Бесселя нулевого и первого порядка; f , f_{on} — частота звуковой волны и критическая частота моды on ; b_n , k_n — волновые числа нормальных и поперечных волн, определяемые из условия $J_1(b_n R) = 0$; $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число векторов; $\omega = 2\pi f$.

Двухсторонняя концевая поправка поршневого излучателя — воздушной пробки входного отверстия резонатора, обусловленная присоединенной массой M_l , определяется следующим выражением:

$$2\delta_l = \frac{M_l}{S_0 \rho R} = \left(2\pi \frac{R}{\lambda}\right)^{-2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{F_n \left(\frac{r_0}{R}\right)}{\alpha_n} \operatorname{cth} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \alpha_n l\right), \quad (3)$$

где

$$M_l = \frac{S_0 \rho}{k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_n (r_0/R)}{\alpha_n} \operatorname{cth} (k \alpha_n l).$$

Инерционный импеданс первой секции резонатора ОРЗПП с учетом низких мод колебаний $m = n = 0$ можно определить как сумму инерционных импедансов ($Z_{p_i} = R_{p_i} + jY_{p_i}$) передней стенки Y_n и упругого сопротивления воздушной полости Y_l :

$$Y_{p_i} = Y_n + Y_l = k_n/\eta (\tau + 2\delta_l) - jW_0 \operatorname{ctg} k_n l, \quad (4)$$

где $\eta = \frac{S_0}{S}$ — коэффициент перфорации входной и промежуточной панели ОРЗПП; τ , $\delta_{\text{пор}}$ — толщина стенок резонатора и поролон; $k_{p_i} = \frac{\sigma}{\eta} = \frac{\sigma S}{S_0}$ — активная компонента импеданса передней стенки резонатора; σ — сопротивление продувания ткани, устанавливаемой в отверстиях резонатора.

Величина концевой поправки для круглых и квадратных отверстий при этом принимает вид:

$$\delta_l = 0,43D(1 - 1,47\eta^{1/2} + 0,47\eta^{1/4}). \quad (5)$$

Активная и реактивная компоненты входного импеданса второй секции с учетом упругого опирания внутренней панели резонатора при частотах более низких, чем собственная частота стенки резонатора, определяется по формулам:

$$R_{p_i} |_{\omega \ll \omega_1} \cong R_1 \left[1 + \frac{M_1}{M_2} \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2 \right]; \quad Y_{p_i} |_{\omega \ll \omega_1} = M_1 \omega - \frac{E}{\omega}, \quad (6)$$

где

$$R_1 = \frac{\mu}{S_0^2} + R_\tau; \quad R_\tau = \sqrt{\pi \rho \nu f} = 8,7 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}; \quad M_1 = (c\eta)^{-1} (r + 2\delta_l);$$

$$M_2 = \frac{M_3}{(S_0 - S_2)^2}; \quad E_{1,2} = \frac{\rho_0 c^2}{S l_{1,2}}; \quad E_3 = j\omega \frac{W}{\gamma}; \quad k_n = \frac{|E_3|}{\delta_n};$$

$$|E_{R_{w/\gamma}}|^2 + |E_{Y_{w/\gamma}}|^2 = |E_3|^2;$$

M_1 ; M_2 — акустические массы поршневого излучателя; $M_3 = \rho_n \delta / (S - S_2)^2$ — масса внутренней упруго опертой панели резонатора; $\mu = 1,86 \cdot 10^{-5}$ кг/см — трение при колебаниях воздуха в отверстиях резонатора; E_1 , E_2 , E_3 — упругости поршневого излучателя; $E_{R_{w/\gamma}}$, $E_{Y_{w/\gamma}}$ — активные и реактивные компоненты упругости волнового сопротивления поролона; W , γ — волновое сопротивление и постоянная распространения упругой прокладки поролона; $\rho_0 = 1,29 \cdot 10^{-3}$, $\rho_n \approx 1$ г/см³; — плотности воздуха и материала панели; $\omega_{1,2}^2 = \frac{E_{1,2}}{M_{1,2}}$, $\omega_n^2 = \frac{k_n}{\rho_n \delta (S - S_2)}$ — частоты резонатора и внутренней упруго опертой панели.

При нормальном падении звука коэффициент звукопоглощения (КЗП) с учетом конструктивных размеров ОРЗПП определяется из выражения:

$$\alpha(f) = \frac{4R_1}{(R_1 + 1)^2 + [2\pi da - \text{ctg}(2\pi a)]^2}, \quad (7)$$

где

$$a = \frac{l}{\lambda}; \quad d = \frac{mc}{l}; \quad R_1 = \frac{R_p}{\rho_0 c_0}; \quad \alpha_1 = \frac{4R_1}{(R_1 + 1)^2},$$

откуда максимум КЗП равен $\alpha_{\max} = \alpha_1$ при частоте резонанса, удовлетворяющей уравнению $2\pi da - \text{ctg}(2\pi a) = 0$.

Значение импедансных характеристик ОРЗПП, определенные по формуле (1) с учетом (2) — (6), произведены на ЭВМ. Достоверность полученных теоретических результатов была проверена экспериментальными данными при испытании двух моделей малогабаритных звукопоглотителей цилиндрической формы, изготовленных из оргстекла и фанеры толщиной 5 мм. Конструктивные параметры резонатора модели ОРЗПП: диаметр цилиндра — 98,5 мм; диаметры центральных входных отверстий резонатора и упруго опертой внутренней панели — 50 и 20 мм с соотношением $r_0/R = 0,5$ и $r_1/R = 0,2$. Внутри резонатора параллельно его лицевой поверхности устанавливали упруго опертую панель из поролона толщиной 5 мм, которая разделяет резонатор на два соизмеримых объема с глубиной полости каждой секции камеры $l_1 = 85$ мм, $l_2 = 80$ мм и $L = 165$ мм. Измерения произведены на акустическом интерферометре «Брюль и Кьер» в диапазоне частот (125—1000) Гц.

На рис. 1 представлена частотная характеристика реактивных компонент $Y(f)$ импеданса поверхности ОРЗПП с внутренней упруго опертой панелью, измеренная для первой и отдельно второй секций

ОРЗПП — $Y_1(f)$, $Y_2(f)$ и для двухсекционного ОРЗПП — $Y_n(f)$ с упруго опертой по периметру панелью. Как видно, кривые реактивных компонентов импеданса $Y_1(f)$ и $Y_2(f)$ пересекают ось абсцисс для односекционных резонаторов один раз: $f_{рез_1} = 280$ Гц и $f_{рез_2} = 800$ Гц, а при упругой установке панели она проходит через нуль несколько раз: $f_{п_1} = 290$ Гц, $f_{п_2} = 360$ Гц, $f_{п_3} = 850$ Гц, характеризующая многорезонантность системы со смещением основной резонансной частоты в сторону низких частот, т. е. наблюдается расширение полосы поглощения с возрастанием КЗП на низких частотах.

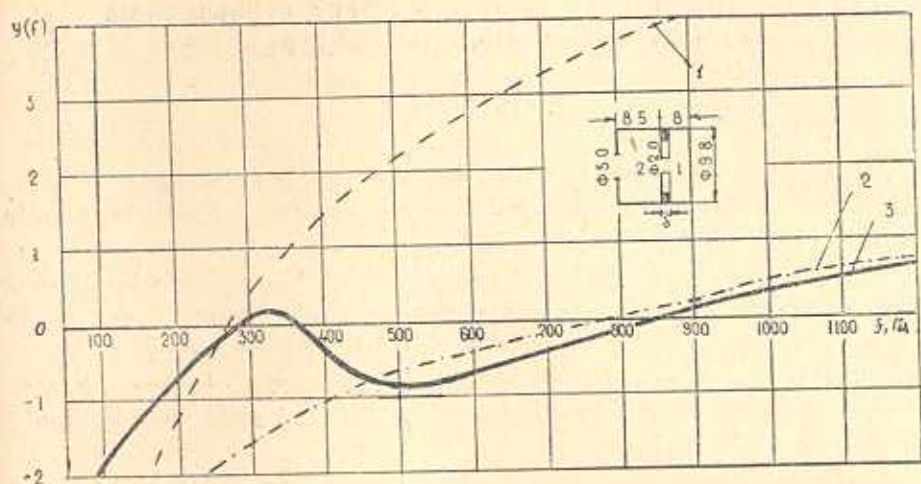


Рис. 1. Частотная характеристика реактивных компонент $Y(f)$ импеданса поверхности ОРЗПП; 1, 2 — измеренная для первой и отдельно второй секции резонатора; 3 — для упруго опертой по периметру панели.

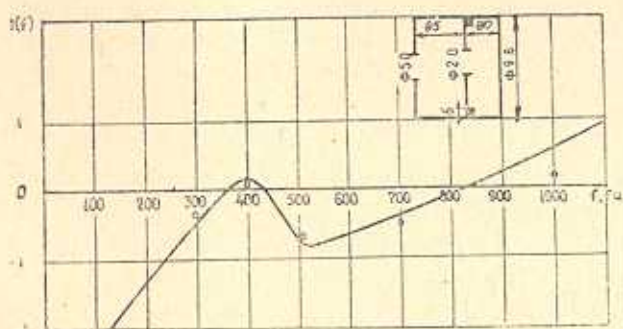


Рис. 2. Теоретическая и экспериментальная частотные зависимости реактивных компонент $Y(f)$ импеданса поверхности ОРЗПП: \circ — экспериментальные значения.

На рис. 2 показаны теоретическая и экспериментальная частотные зависимости реактивных компонент $Y(f)$. Результаты не дают заметного расхождения, за исключением высоких частот порядка свыше 1000 Гц.

Применение предлагаемых ОРЗПП в подвесных акустических потолках, взамен существующих обеспечивает эффект за счет снижения материалоемкости изделий и трудовых затрат в размере 15—20% на квадратный метр поверхности акустических конструкций.

ЕрПИ им. К. Маркса

28. IV. 1986

ՅՈՒ. Ա. ԳԱՍԳԱՐՅԱՆ, Ա. Գ. ՄԱՆՈՒԶԱՐՅԱՆ

ՆԵՐՔԻՆ ԱՌԱՋԿԱԿԱՆ ՀԵՆՎԱԾ ՄԻՋԱԿԻՐՈՎ ԻԵՋՈՆԱՆՍԱՅԻՆ
ԶԱՅՆԱԿՎԱՆԻՉԻ ԶԱՅՆԱԿԻՏԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Բերված է առաձգական ներքին հենված միջադիրով ծավալային ուղղանախյին ձայնակլանիչի էֆեկտիվության հետազոտման արդյունքները ցածր հաճախականությունների խլացման համար:

Կապակցված, փոխկապակցված զանգվածների և առաձգական հենված ներքին միջադիրի և ուղղանախյի իներցիականությունը աճում է մուտքային անցքերի դիֆրակցիոն էֆեկտների, կապակցված, փոխկապակցված զանգվածների աճման ձայնագրտական էֆեկտի հաշվին, որից ուղղանախյի հիմնական ուղղանախյին հաճախությունը տեղափոխվում է ցածր հաճախությունների կողմը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Велижанина К. А., Оборотов В. А. Новый низкочастотный и инфразвуковой резонансный звукопоглотитель.— Акустический журн., 1983, том 29, № 1, с. 5—10.
2. Ржевкин С. Н. Курс лекции по теории звука.— М.: Изд-во МГУ, 1960.— 337 с.
3. Maa Dah You. Theory and design of microperforated panel sound-absorbing construction.— Scientica clinica, 1975, v. 18, № 1, p. 37—45.
4. Morze P. M., Ingard U. Theoretical Acoustics—New York; Mc. Graw-Hill, 1968, — 924p.