ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXXIX, № 4, 1986 Серия технических наук

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:

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

С целью определения входного импеданса Z_{p_1}, активных и реактивных компонент R_{p_2}, Y_{p_2} 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:

$$Z_p = -jS_0\,\omega\rho\left[\sum_{n=0}^{\infty}\frac{F_n(r_0/R)}{k_n}\operatorname{ctg}(k_n l) + \left(\frac{r_0}{R}\right)\operatorname{ctg}(k_n l)\right] + 2\delta_1, \qquad (2)$$

где

$$F_n\left(\frac{r_0}{R}\right) = \frac{4J_1^2(b_n r_0)}{(b_n R)^2 J_0^2(b_n R)}; \qquad k_n^2 = b^2 - b_n^2; \qquad \alpha_n^2 = \left(\frac{f_{0n}}{f}\right)^2 - 1;$$

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

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:

$$2\delta_l = \frac{M_l}{S_0 R} = \left(2\pi \frac{R}{\lambda}\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{F_n\left(\frac{r_0}{R}\right)}{\alpha_n} \operatorname{cth}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \alpha_n l\right), \tag{3}$$

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 ($Z_{p_1} = R_{p_1} + jY_{p_1}$) передней стенки Y_n и упругого сопротивления воздушной полости Y_l:

$$Y_{p_1} = Y_n + Y_l = k_0/\eta(\tau + 2\delta_l) - jW_0 \operatorname{ctg} k_0 l, \tag{4}$$

где $\eta = \frac{S_0}{S}$ — коэффициент перфорации входной и промежуточной панели ОРЗПП; τ, $\delta_{пор}$ — толщина стенок резонатора и поролона; $k_{p_1} = \frac{\sigma}{\eta} = \frac{\sigma S}{S_0}$ — 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:

$$\delta_l = 0{,}43D(1 - 1{,}47\eta^{1/2} + 0{,}47\eta^{3/2}). \tag{5}$$

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:

$$R_{p_2}|_{\omega<\omega_1} \simeq R_1 \left[1 + \frac{M_1}{M_2}\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2\right]; \qquad Y_{p_2}|_{\omega<\omega_1} = M_1\omega - \frac{E}{\omega}. \tag{6}$$

где

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

$$M_2 = \frac{M_1}{(S_0 - S_2)^2}; \qquad E_{1,2} = \frac{\rho_0 c^2}{S l_{1,2}}; \qquad E_3 = j\omega \frac{W}{\gamma}; \qquad k_n = \frac{|E_3|}{\delta_n};$$

$$\left|E_{R_{w/1}}\right|^2 + \left|E_{Y_{w/1}}\right|^2 = |E_3|^2;$$

M_1; M_2 — акустические массы поршневого излучателя; $M_6 = \rho_n \delta/(S - S_2)^2$ — масса внутренней упруго опертой панели резонатора; $\mu = 1{,}86 \cdot 10^{-4}$ *кг/см* — трение при колебаниях воздуха в отверстиях резонатора; E_1, E_2, E_3 — упругости поршневого излучателя; $E_{R_{w/1}}$, $E_{Y_{w/1}}$ — 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/см*^{3}; — плотности воздуха и материала панели; $\omega^2_{1,2} = \frac{E_{1,2}}{M_{1,2}}$, $\omega^2_n = \frac{k_n}{\rho_n \delta (S - S_2)}$ — частоты резонатора и внутренней упруго опертой панели.

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

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

где

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

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

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*, характеризуя многорезонансность системы со смещением основной резонансной частоты в сторону низких частот, т. е. наблюдается расширение полосы поглощения с возрастанием КЗП на низких частотах.

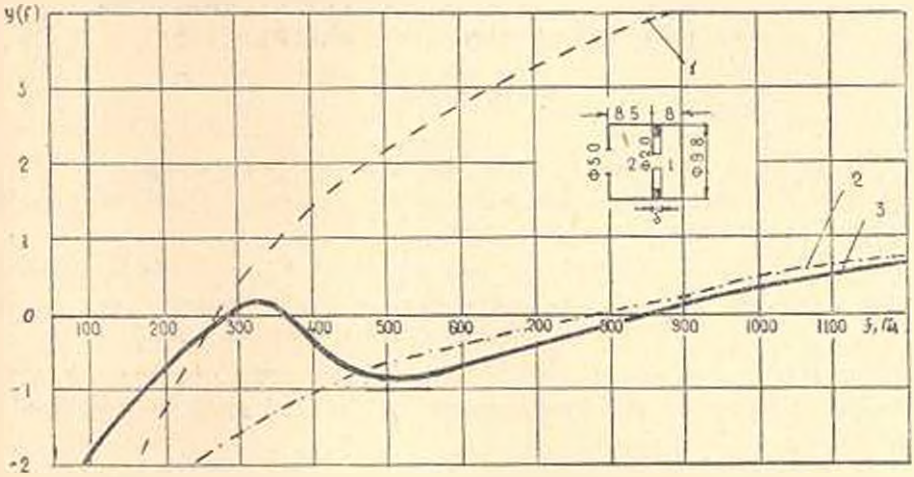

Рис. 1. Частотная характеристика реактивных компонент $Y(f)$ импеданса поверхности ОРЗПП; *1, 2* — измеренная для первой и отдельно второй секции резонатора; *3* — для упруго опертой по периметру панели.

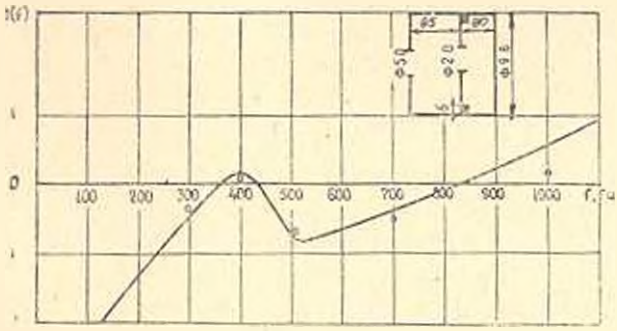

Рис. 2. Теоретическая и экспериментальная частотные зависимости реактивных компонент $Y(f)$ импеданса поверхности ОРЗПП: ○ — экспериментальные значения.

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. ԴԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ա. Գ. ՄԱՆՈՒՉԱՐՅԱՆ

ՆԵՐՔԻՆ ԱՌԱՁԳԱԿԱՆ ՀՆՆՎԱԾ ՄԻՋԱԴԻՐՈՎ ՈՒԵՂՈՆԱՆՍԱՅԻՆ ՁԱՅՆԱԿԼԱՆԻՉԻ ՁԱՅՆԱԴԻՏԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Ամփոփում

Բերված է առաձգական ներքին հնված միջադիրով ծավալային ռեզոնանսային ձայնակլանիչի էֆեկտիվության հետազոտման արդյունքները ցածր հաճախականությունների խլացման համար։

Կապակցված, փոխկապակցված զանգվածների և առաձգական հնված ներքին միջադիրի և ռեզոնատորի իներցիականությունը աճում է մուտքային անցքերի դիֆրակցիոն էֆեկտների, կապակցված, փոխկապակցված զանգվածների աճման ձայնադիտական էֆեկտի հաշվին, որից ռեզոնատորի հիմնական ռեզոնանսային հաճախությունը տեղափոխվում է ցածր հաճախությունների կողմը։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Великжанина 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 лекций по теории звука.— М.: Изд-во МГУ, 1960.— 337 с.
3. *Maa Dah You.* Theory and design of microperforated panel sound-absorbing construction.— Scientica cinica, 1975, v. 18, № 1, p. 37—45.
4. *Morse P. M., Ingard U.* Theoretical Acoustics.—New York: Mc. Graw-Hill, 1968. — 924p.