ЛИТЕРАТУРА

1. *Шеклн Г. Г.* Проверка подшипников качения электрических машин на ударопрочность//Сб. науч. тр. ЕрПИ. сер. Машиностроение.—1971.—Т. 33. вып. V. — С. 32—35.
2. *Батуев Г. С.* Инженерные методы исследования ударных процессов.— М.: Машиностроение, 1977.— 186 с.
3. *Кожевников С. Н.* Теория механизмов и машин.— М.: Машиностроение, 1973.— 256 с.
4. *Микусинский Я. Н.* Операторное исчисление.—М.: ИЛ, 1965.—283 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 6, 1987

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ю. А. ГАСПАРЯН

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ РЕЗОНАТОРА НА ЕГО АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Определение входного импеданса объемного низкочастотного многорезонансного звукопоглотителя (ОМНРЗП) сложной конфигурации представляет известные трудности в связи с тем, что необходимо решить дифракционную задачу для волнового уравнения при сложных граничных условиях, а также рассеивание, отражение и трансформацию звуковых волн, величина звукопоглощения которых не поддается теоретическому расчету [1]. Поэтому для проектирования ОМНРЗП широкое применение получили приближенные методы, основанные на упрощенных моделях передачи звука через резонансный звукопоглотитель.

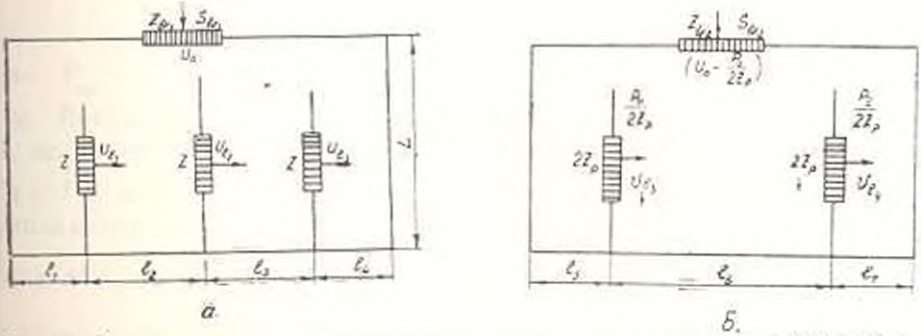

Рис. 1. Схема прохождения скорости и давления звуковой волны в ОМНРЗП: а, б — трех — и двухрядной дифракционной решетки.

Комплексный импеданс системы акустического элемента (рис. 1), исходя из импеданса в точке приложения — входного поршня лицевой поверхности резонатора, импеданса излучения поршня и переходного импеданса с учетом площади входных и лицевых отверстий будем искать согласно рекомендациям [2, 3] и электроакустической аналогии.

Метод 1. В случае, если акустический резистанс импеданса входных и несоосных отверстий $R_{bx1}, R_1, \ldots, R_n$ можно принять равным нулю, получим следующие реактивные компоненты комплексного импеданса резонатора:

$$Y_{PH} = jW_0 \frac{S^2_{bx_{1,2}}}{S^2_a} \left\{ Y_{bx_{1,2}} + \left[\sin^2 kl_1 \left(Y_1 + \right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left. + \frac{1}{\sin^2 kl_2 \left(Y_2 + \dfrac{1}{\sin^2 kl_3 \left(Y_3 + \dfrac{1}{Y_4 \sin^2 kl_4} \right)} \right)} \right) \right]^{-1} \right\},$$

где

$$Y_{вх_{1,2}} = j\,(kM_{вх_{1,2}} - \operatorname{ctg} kl); \quad Y_{1,2} = j\,(kM_p - \operatorname{ctg} kl_{1,2} - \operatorname{ctg} kl_{1,3}); \qquad (1)$$

$$Y_{3,4} = j\{(kM_{p2,5} - \operatorname{ctg} kl_{3,4}) + [\sin^2 kl_{3,4}(Y_{вх1,2} - j \operatorname{ctg} kl_{3,4})]^{-1}\}.$$

Метод 2. При установке двухрядной или трехрядной дискретной дифракционной решетки внутри резонирующей полости ОМНРЗП с одним входным отверстием диаметром D_1 или двумя входными отверстиями диаметрами $D_2 (D_1 > D_2)$ в лицевой поверхности резонатора, когда ячейки дифрешетки связываются «параллельно» или «последовательно», параллельная связь расширяет полосу звукопоглощения и уменьшает максимум поглощения. Реактивные компоненты комплексного импеданса такой конструкции определяют из следующих выражений:

$$Y_{M_1} = jW_0 \frac{S^2_{вх_1}}{S^2_a} \cdot \frac{Y_{вх_1} Y_1 Y_2 Y_3 Y_4}{Y_1 Y_2 Y_3 + Y_2 Y_3 Y_4 + Y_1 Y_3 Y_4};$$

$$Y_{M_2} = jW_0 \frac{S^2_{вх_2}}{S^2_a} \cdot \frac{Y_{вх_2} Y_5 Y_6 Y_7}{Y_5 Y_6 + Y_6 Y_7 + Y_5 Y_7},$$

где

$$Y_{вх1,2} = j\left[\omega M_{вх1,2} - \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right)\right];$$

$$Y_{1,5} = j\left[\omega M_{p_1} - \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi l_{1,5}}{\lambda}\right) - \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi l_{2,6}}{\lambda}\right)\right];$$

$$Y_{2,3,6} = j\left\{Y_{1,5} - \operatorname{ctg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{l_2 + l_3}{l_2}\right)\left[\omega M_{p_2} - \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{l_2 + l_3}{l_2}\right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{l_3 + l_6}{l_3}\right)\right]^{-1}\right\}; \qquad (2)$$

$$Y_{4,7} = j\left\{Y_{3,6} - \operatorname{ctg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{l_3+l_6}{l_6}\right)\left[\omega M_{p_2} - \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{l_3+l_6}{l_3}\right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{l_1+l_2}{l_1}\right)\right]^{-1}\right\}.$$

Здесь $S_{вх_1} = 44{,}15\,см^2$ при $D_{вх_1} = 7{,}5\,см$; $S_{вх_2} = 41{,}1\,см^2$ при $D_{вх.} = 5\,см$ и $D_{вх.} = (2 \times 3{,}75)\,см$, $S_л = 625\,см^2$ — площади входных отверстий и лицевой поверхности резонатора: $L = 10$ и $20\,см$ — глубина резонирующей полости; $l_1, l_2, \ldots, l_7$ — шаг расположения перегородок ячейки дифракционной решетки для трехрядной $l_1 = 6{,}25\,см$ и для двухрядной решетки $l_2 = 8{,}33\,см$; $k = \frac{2\pi}{\lambda} = 1{,}83\,10^{-4} f$ — волновое число; $W_0 = \rho c = 42\,г/см^2 с$ — волновое сопротивление воздуха.

Из уравнения (2) следует, что акустический резистанс системы возрастает вблизи резонанса задней полости, когда мнимая часть знаменателя дроби становится равной нулю и это увеличение больше на низких частотах. Если резонансная частота второй полости ячейки решетки выше первой, то резонансная частота двойной решетки равна: $\omega M_1 - \operatorname{ctg} k(l_1 + l_2) = 0$.

Метод 3. В рассматриваемом случае, принимая импеданс на входе равным $Z_{вх_1}$, а в перегородке ячейки двухрядной дифрешетки — Z_p (рис. 1 в), если импедансы $Z_{вх_1}$ и Z_p реактивные, получаем: $Z_{вх} = jY_{вх}$; $Z_p = jY_p$, где значения $Y_{вх}$ и Y_p могут быть положительными (инерционное сопротивление) или отрицательными (упругое сопротивление). Реактивная компонента импеданса в этом случае равна:

$$Y_{3,6} = 2jW_0\frac{S^2_{вх_{1,2}}}{S^2_л}\cdot Y_{p_{1,2}}\left(\frac{Y_{вх_{1,2}} + 4Y_{p_{1,2}}}{Y_{вх_{1,2}}}\right)^{-\frac{1}{2}}.$$

Если $Y_{вх}$ и Y_p одинакового знака, то $\operatorname{ch}\gamma > 1$ и γ будет вещественным. Ячейка дифрешетки будет ослаблять амплитуду звуковой волны, не изменяя фазы. Если $Y_{вх}$ и Y_p разного знака, то величина $\operatorname{ch}\gamma < 1$ и может стать меньше нуля, в этом случае величина будет комплексной величиной $\gamma = \alpha + j\beta$, α — постоянная затухания звуковой волны, $\beta = \frac{\omega}{c}$ — фазовая постоянная, рассчитанная на одну ячейку перегородки дифрешетки. Чтобы α имело вещественное значение, должно соблюдаться $0 \leqslant \frac{Y_{вх}}{Y_p} \leqslant 4$, в этом случае звуковая волна имеет область прохождения, а при $\frac{|Y_{вх}|}{|Y_p|} > 4$ — область звукопоглощения. В реальных резонаторах удается осуществить инерционный импеданс последовательной цепи лишь при низких частотах. При повышенных

частотах изменение происходит по $Z_{вх} = j\frac{W}{S}\operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)$, поэтому входной импеданс $Z_{вх}$ становится отрицательным и имеет несколько областей частот прохождения и звукопоглощения. При установке в резонирующую полость однорядной или трехрядной дифрешеток с двумя или тремя входными отверстиями в лицевой поверхности резонатора, реактивные компоненты импеданса равны:

$$Y_{э_2} = 0{,}5jW_0\frac{S^2_{вх_{1,2}}}{S^2_л}Y_{вх_{1,2}}\left(\frac{Y_{вх_{1,2}} + 4Y_{р_{1,2}}}{Y_{вх_{1,2}}}\right)^{-\frac{1}{2}}; \tag{4}$$

$$Y_{э_3} = jW_0\frac{S^2_{вх_{1,2}}}{S^2_л}(0{,}5Y_{вх_{1,2}} + 4Y_{р_{1,2}})\left(\frac{Y_{вх_{1,2}} + 4Y_{р_{1,2}}}{Y_{вх_{1,2}}}\right)^{-\frac{1}{2}}. \tag{5}$$

Присоединенная масса воздуха во входном отверстии $M_{вх_{1,2}}$, масса листа лицевой поверхности резонатора $M_{мр}$ и присоединенная масса несоосных отверстий для двухрядной или трехрядной дифрешетки $M_{вхр}$ определяются из следующих выражений:

$$M_{вх_1} = \frac{M_{вх}M_м}{M_{вх} + M_м}; \quad M_{р_1} = \frac{2M_{вхр}M_{мр}}{2M_{вхр} + M_{мр}};$$

$$M_{вх_2} = \frac{3M_{вх}M_м}{3M_{вх} + M_м}; \quad M_{р_2} = \frac{3M_{вхр}M_{мр}}{3M_{вхр} + M_{мр}};$$

$$M_{вх} = \rho\left[t_{1,2}\left(1{,}13\frac{t_{1,2}}{D_{вх_{1,2}}} - 1{,}21\right) + 1{,}27h\left(\frac{t_{1,2}}{D_{вх_{1,2}}}\right)^2\right];$$

$$M_м = \rho_м h\left[1 - 0{,}785\left(\frac{D_{вх_{1,2}}}{t_{1,2}}\right)^2\right]; \tag{6}$$

$$M_{вх} = \rho\left[t_р\left(1{,}13\frac{t_р}{D_{вхр}} - 1{,}21\right) + 1{,}27h\left(\frac{t_р}{D_{вхр}}\right)\right];$$

$$M_{мр} = \rho_м h\left[1 - 0{,}785\left(\frac{D_{вхр}}{t_р}\right)^2\right],$$

где ρ, $\rho_м$ — соответственно плотности воздуха ($\rho = 1{,}29\cdot10^{-3}$ *г см*$^{-3}$) и материала резонатора: фанеры $\rho_ф = 0{,}5 - 1{,}0$ *г см*$^{-3}$; оргстекла $\rho_{орг} = 0{,}9 - 1$ *г см*$^{-3}$; алюминия $\rho_{Al} = 2{,}7$ *г см*$^{-3}$; t_1, t_2 — шаг перфорации верхней и нижней лицевой поверхностях резонатора ($t_1 = 25$ *см*, $t_р = 5$ *см*, $t_2 = t_р = 7{,}5$ *см*); $h = 0{,}5$ *см* — толщина стенок резонатора).

Обозначая конструктивные размеры элемента в зависимости от падающей длины звуковой волны λ, получаем:

$$H = \frac{L}{\lambda}; \quad h = \frac{l}{\lambda}; \quad kl = 2\pi h; \quad \omega M = 2\pi dh;$$

$$\frac{Mc}{l} = d; \quad R = \frac{r_1 D^2}{\frac{\pi d^2}{4}}; \quad r_1^2 = \frac{M}{l}.$$

Имея значения R и Y при нормальном падении звука, получаем коэффициент звукопоглощения:

$$\alpha(f) = 4RW_0 / (R + W_0)^2 + [2\pi dh - W_0 \operatorname{ctg}(2\pi h)]^2 \}^{-1}.$$

Расчет импедансных характеристик, производимых по формулам (1)—(6), определяли на ЭВМ СМ-4 по программе ФОРТРАН-4. С целью проверки достоверности полученных теоретических результатов были проведены эксперименты на низкочастотном интерферометре ЦНИСФ (рис. 2). Из сравнения величин $Y_{эк}$, $Y_м$, $Y_э$ видно, что реактивная компонента импеданса проходит через нуль несколько раз, характеризуя резонансные частоты ОМНРЗП. Результирующий реактанс имеет нулевое значение при более низкой частоте, чем у существующих объемных резонансных звукопоглотителей.

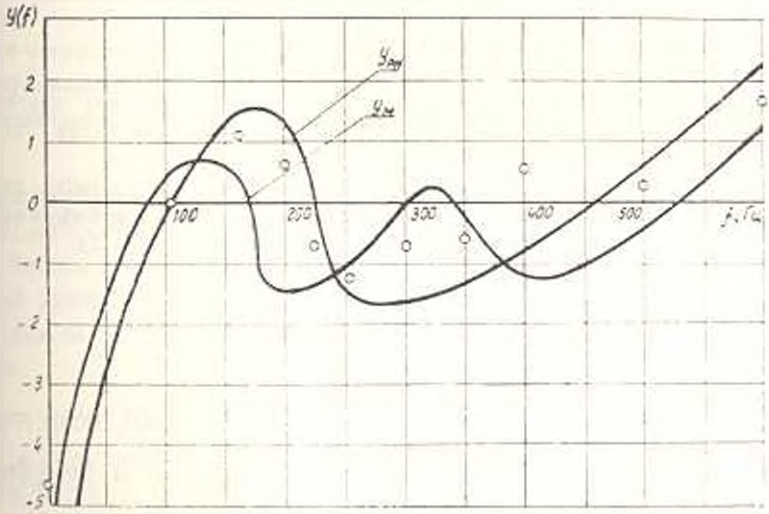

Рис. 2. Частотная характеристика реактивных компонент импеданса поверхности ОМНРЗП: $Y_м$ (кривая 1) и $Y_э$ (кривая 2), рассчитанных по методам 1, 2 при падении плоской звуковой волны со стороны одного входного отверстия: о—о—о — экспериментальные значения Y.

Из рис. 2 видно, что Y имеет частоты резонанса 80, 315 и 500 *Гц*, определенные по методу 1 согласно формуле (1) и 85, 315, 515 Гц — определенные по методу 2 и формуле (2) и т. д.

Результаты проведенного исследования не дают заметного расхождения и находятся в пределах (7—13) % в диапазоне частот (63—630) *Гц*, за исключением частот (200 и 400) *Гц*, где относительная ошибка превосходит 20%. Совпадение расчетных и опытных данных дает основание предполагать, что предложенный метод определения импедансных характеристик ОМНРЗП является надежным при проектировании низкочастотных резонансных звукопоглотителей.

ЕрПИ им. К. Маркса 3.VI.1985

ՅՈՒ. Ա. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ

ՌԵԶՈՆԱՏՈՐԻ ՆԵՐՔԻՆ ԴԻՖՐԱԿՑԻՈՆ ՑԱՆՑԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՐԱ ՁԱՅՆԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ամփոփում

Դիտարկված է ներքին դիֆրակցիոն ընդհատ ցանցի երկրաչափական պարամետրերի ազդեցությունը նրա ձայնագիտական հատկությունների վրա։

Ստացված են ծավալային ցածր հաճախականության բազմառեզոնանսային ձայնակլանիչի (ՄՑՀԲՌՁ) հիմնական ռեզոնանսային հաճախականությունները՝ կախված ընկնող ձայնային ալիքի երկարությունից։ Բացահայտված է ստացված ձայնագիտական էֆեկտի արդյունքների օգտագործման հնարավորությունը փոքր ծավալաչափի ՄՑՀԲՌՁ-ի ստեղծման ժամանակ։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаспарян Ю. А.* Решение волнового уравнения для [illegible] акустического элемента, нагруженного импедансом // Изв. АН АрмССР. Серия ТН.— 1984. — Т. XXXVII, № 6. — С. 35—42.
2. *Ржевкин С. Н.* Курс лекций по теории звука. — М. Изд-во МГУ, 1960. — 335 с.
3. *Mao-Dah-You.* Theory and design of microperforated panel sound-absorbing constructions. Scientica clinica. — 1975. — V. 18. — № 1. — P. 55—71.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 6, 1987

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В. С. АБРАМОВ, Г. В. БАДЕЯН, С. А. АМБАРЦУМЯН, В. И. ГРИГОРЯН

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА ТЕМПЕРАТУРУ БЕТОНА ПРИ ЕГО ОБОГРЕВЕ

Для ограниченного интервала температур зависимость омического сопротивления электрических нагревателей, применяемых в греющих опалубках и термоформах, от температуры можно выразить функцией [1]: