

В. П. ШОРИН

ГАСИТЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫЙ ПО СХЕМЕ Т-ОБРАЗНОГО МОСТИКОВОГО ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

Известно (см. [1]), что эффективность действия гасителя колебаний определяется не только коэффициентом собственного затухания, но и коэффициентами, характеризующими взаимодействие гасителя с трубопроводной системой. Большая часть гасителей, построенных по принципу акустических фильтров, в полосе непропускания обладает комплексным или мнимым волновым сопротивлением. При установке подобных гасителей в систему с высокой добротностью элементов, которой присущи сильная зависимость модуля сопротивления от частоты и знакопеременный характер сопротивления, в полосе гашения величина одного из коэффициентов, характеризующих взаимодействие гасителя с системой, может стать равной или близкой к нулю, а следовательно, и величина коэффициента вносимого затухания может стать значительно меньше единицы.

Условие $K_{\text{вн}} < 1$ практически означает усиление колебаний в системе с гасителем по сравнению с системой без гасителя, т. е. введение в систему реактивного гасителя только сдвигает в ту или иную сторону собственные частоты системы. Хотя за счет действия собственного затухания в гасителе полоса частот, в которой происходит усиление колебаний, значительно сужается, при применении реактивных гасителей в системах с высокой добротностью элементов и широким диапазоном частот источника колебаний существует опасность возникновения резонансов в системе с гасителем. Кроме того, расчет реактивных гасителей для применения в сложных системах трудоемок, а порой практически невыполним. В таких случаях целесообразно применение гасителей колебаний с активным характером волнового сопротивления или гасителей,

активная часть волнового сопротивления которых значительно превышает реактивную. Тогда независимо от характеристик трубопроводной системы можно достичь эффективного сглаживания колебаний в широком диапазоне частот.

Ниже рассмотрен симметричный гаситель с чисто активным волновым сопротивлением. Вводя понятие собственной постоянной передачи гасителя

$$g = \ln(\sqrt{AD} + \sqrt{BC}) \quad (1)$$

и учитывая, что для симметричного гасителя

$$z_{c_1} = z_{c_2} = z_c, \quad (2)$$

формулу для коэффициента вносимого затухания запишем в виде

$$K_{\text{вн}} = \left| \operatorname{ch} g + \frac{z_{\text{ист}} \cdot z_{\text{II}} + z_c^2}{(z_{\text{ист}} + z_{\text{II}}) z_c} \operatorname{sh} g \right|, \quad (3)$$

В формулах (1—3):

g — собственная постоянная передачи гасителя;

A, B, C, D — коэффициенты цепочечной матрицы гасителя;

z_{c_1} — волновое сопротивление гасителя со стороны источника колебаний;

z_{c_2} — волновое сопротивление гасителя со стороны присоединенной трубопроводной системы;

$z_{\text{ист}}$ — импеданс эквивалентного источника колебаний;

z_{II} — импеданс присоединенной трубопроводной системы.

Для полосы гашения, в которой собственное затухание в гасителе довольно велико (не менее 4—5), можно принять

$$|\operatorname{ch} g| = |\operatorname{sh} g| = \frac{K_c}{2}, \quad (4)$$

K_c — коэффициент собственного затухания гасителя.

С учетом (4) формулу для коэффициента вносимого затухания получим в виде

$$K_{\text{вн}} = \frac{K_c}{2} \left| 1 + \frac{1}{z_c} \frac{z_{\text{ист}} \cdot z_{\text{II}}}{z_{\text{ист}} + z_{\text{II}}} + z_c \frac{1}{z_{\text{ист}} + z_{\text{II}}} \right|, \quad (5)$$

так как z_c действительно, и для пассивных цепей всегда

$$\operatorname{Re} \left(\frac{z_{\text{ист}} \cdot z_{\text{II}}}{z_{\text{ист}} + z_{\text{II}}} \right) \geq 0; \quad \operatorname{Re}(z_{\text{ист}} + z_{\text{II}}) \geq 0,$$

модуль выражения

$$1 + \frac{1}{z_c} \frac{z_{\text{ист}} \cdot z_{\text{II}}}{z_{\text{ист}} + z_{\text{II}}} + z_c \frac{1}{z_{\text{ист}} + z_{\text{II}}}$$

не может быть меньше единицы, и, следовательно, при любых характеристиках трубопроводной системы и активном волновом сопротивлении гасителя колебаний

$$K_{\text{вн min}} \geq \frac{1}{2} K_c, \quad (6)$$

Из соотношения (6) видно, что при установке гасителя с активным волновым сопротивлением в произвольном сечении трубопроводной системы коэффициент вносимого затухания в расчетной полосе гашения не может быть меньше половины коэффициента собственного затухания гасителя. Этот факт дает возможность расчета подобных гасителей без учета характеристик трубопроводной системы.

Гаситель колебаний с чисто активным волновым сопротивлением может быть реализован как T-образный мостиковый четырехполюсник. Конструктивная схема гасителя и ее электрический аналог представлены на рис. 1.

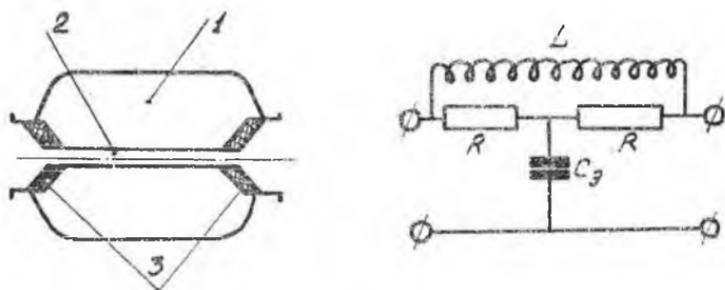


Рис. 1.

Гаситель состоит из элемента податливости — полости 1, элемента инерции — трубки 2, элементов гидравлического сопротивления — дисков 3, выполненных из пористого нетканного металлического материала МР [2] (исследования, проведенные в лаборатории № 1 Куйбышевского авиационного института, показали, что для элементов, выполненных из пористого материала МР, справедлив линейный закон потерь давления, т. е. $\Delta P = R \cdot V$, ΔP — перепад давления на элементе, V — объемный расход, R — гидравлическое сопротивление элемента). Согласно конструктивной схеме и схеме электрического аналога имеем:

$$L_3 = \frac{\rho \cdot l}{S}; \quad (7)$$

$$C_3 = \frac{V}{\rho c^2}, \quad (8)$$

l — длина трубки 2;
 S — площадь поперечного сечения трубки 2;
 V — объем полости 1;
 ρ, c — соответственно плотность жидкости и скорость распространения звука.

Используя электрические аналогии и данные, приведенные в работе [3], нетрудно показать, что волновое сопротивление

гасителя Z_c будет активным и равным R , если выполняется равенство

$$R = \rho c \sqrt{\frac{l}{S \cdot V}}. \quad (9)$$

Коэффициент собственного затухания гасителя в этом случае под- считывается по формуле

$$K_c = \sqrt{1 + \frac{\omega^2 l \cdot V}{c^2 S}}, \quad (10)$$

ω — круговая частота колебаний.

Расчет гасителя колебаний при заданном месте его расположе- ния в системе сводится к выбору числа ячеек в гасителе и опре- делению размеров гасителя, обеспечивающих необходимую сте- пень сглаживания колебаний в заданной полосе частот.

Выбор числа ячеек в гасителе и расчет геометрических размеров

Для гасителя из n одинаковых ячеек (см. рис. 2) выражение для коэффициента собственного затухания имеет вид

$$K_c = \left(\sqrt{1 + \frac{\omega^2 l_i V_i}{c^2 S_i}} \right)^n, \quad (11)$$

где l_i , S_i , V_i — соответствующие геометрические параметры i -й ячейки.

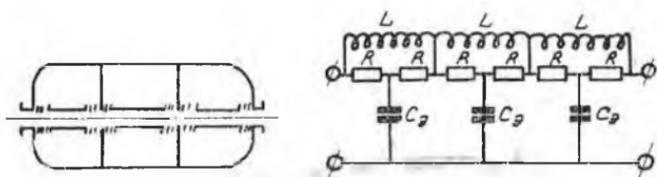


Рис. 2.

В случае применения n одинаковых ячеек волновое сопротивление гасителя равно волновому сопротивлению отдельной ячейки и определяется равенством

$$z_w = R = R_i = \sqrt{\frac{l_i}{S_i V_i}} \cdot \rho c. \quad (12)$$

При заданных величинах волнового сопротивления и частоты од- но и то же значение K_c может быть получено как в однозвенном, так и многозвенном гасителе. Число ячеек выбирается из условия получения наименьших габаритов гасителя. За основной размер,

$$f_1 = \beta_1 K_c; f_2 = \frac{r \cdot (K_c \frac{r}{n} - 1)}{K_c \frac{r}{n}}$$

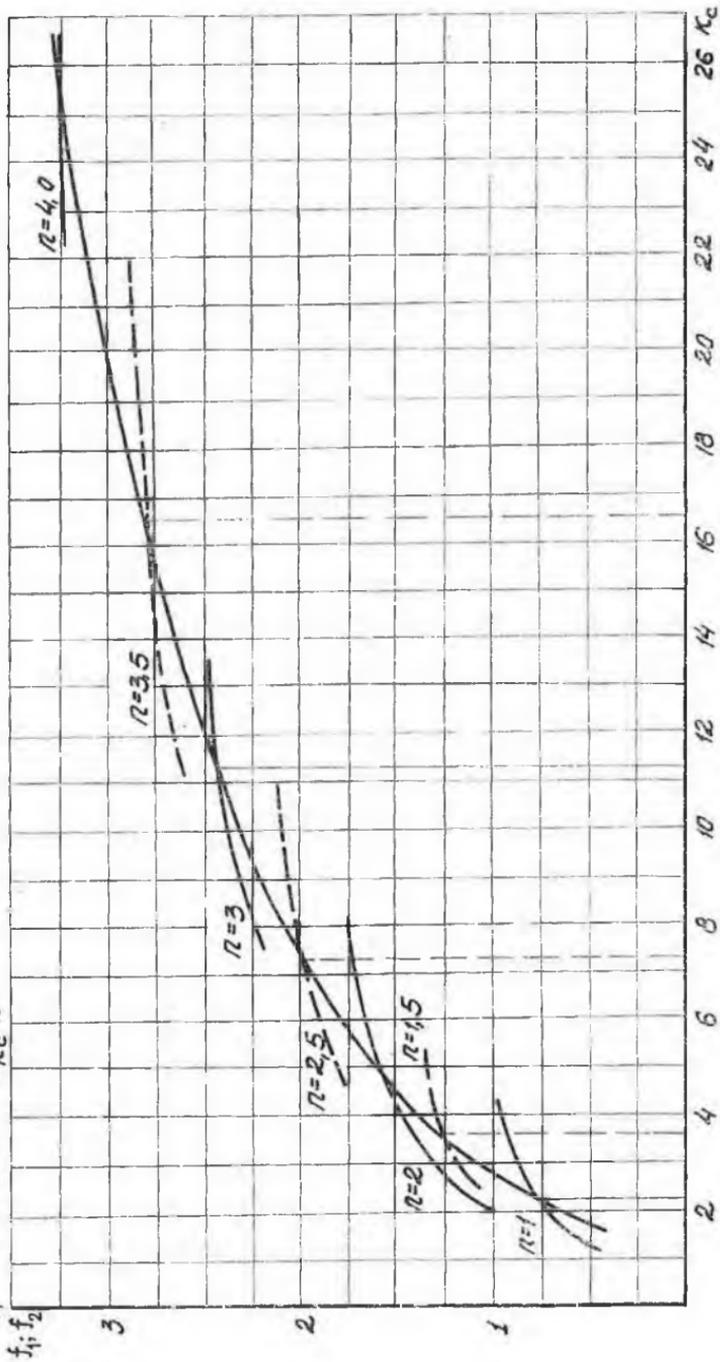


Рис. 3.

характеризующий габариты, принимается суммарный объем гасителя

$$V_{\Sigma} = V_i \cdot n. \quad (13)$$

С учетом условий постоянства волнового сопротивления гасителя, формулу (11) можно представить в виде

$$K_c = \left[1 + m^2 \left(\frac{V_{\Sigma}}{n} \right)^2 \right]^{\frac{n}{2}}, \quad (14)$$

где

$$m = \frac{\omega \cdot R}{c^2 \rho}.$$

Решая уравнение (14) относительно V_{Σ} , получим

$$V_{\Sigma} = \frac{n}{m} \sqrt{K_c^{\frac{2}{n}} - 1}. \quad (15)$$

При заданной величине K_c и m наименьший объем гасителя в зависимости от числа ячеек определяется из условия

$$\frac{dV_{\Sigma}}{dn} = 0. \quad (16)$$

С использованием (15) условие (16) примет вид

$$\frac{n \left(K_c^{\frac{2}{n}} - 1 \right)}{K_c^{\frac{2}{n}}} = \ln K_c. \quad (17)$$

Графическое решение уравнения (17) до $K_c=26$ представлено на рис. 3. Как следует из решения, до $K_c=2,2$ оптимальным является применение однозвенных гасителей, для значений K_c от 2,2 до 5,0 возможно применение одно- и двухзвенных гасителей, в диапазоне $K_c=5 \div 11,3$ возможно применение двух или трехзвенных гасителей, в диапазоне $K_c=11,3 \div 26$ — трех или четырехзвенных гасителей.

Для уточнения областей, в которых оптимально применение тех или иных многозвенных гасителей, проведены формальные решения для $n=1,5$, $n=2,5$, $n=3,5$ и принято, что применение однозвенных гасителей оптимально до $K_c=3,5$, двухзвенных — в диапазоне K_c от 3,5 до 7,25, трехзвенных — в диапазоне K_c от 7,25 до 16,5, четырехзвенных — при K_c свыше 16,5.

При выбранном числе ячеек расчет размеров гасителя может проводиться следующим образом:

1. Площадь поперечного сечения трубопровода S_i выбирается из условия пропускания стационарного потока среды с заданной величиной потерь.

2. Длина трубопровода l_i выбирается из конструктивных соображений с учетом ограничений по пункту 1.

3. Объем ячейки гасителя и сопротивления элементов из пористого материала определяется при заданных ω , K_c , l_0 , S_i из совместного решения уравнений (12), (13), (15).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Шорин. К вопросу о гашении вынужденных колебаний давления в гидравлических системах летательных аппаратов и двигателей. Труды КуАИ, вып. XXX, 1967.
2. В. Н. Бузицкий, А. М. Соيفер. Цельнометаллические упругодемпфирующие элементы, их изготовление и применение. Труды КуАИ, вып. XIX, 1965.
3. Н. Д. Босый. Электрические фильтры. Гостехиздат УССР, 1955.