

Л и т е р а т у р а

1. Б о р и с о в В.А., В о й т е х Н.Д., П а н и н Е.А. Надежность трубопроводных систем при вибрации. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. - Куйбышев: КуАИ, 1977, вып. 4.

2. К а р п А.В. Релаксационные процессы в циклически нагружаемых резьбовых соединениях как фактор, определяющий ресурс затяжки. - В сб.: Исследование, конструирование и расчет резьбовых соединений. - Ульяновск: Ульяновск. политехнич. ин-т, 1973, вып. I.

3. К у х т е н к о в М.М., К у х т е н к о в К.М. Износ стыка фланцев затянутого болтового соединения. - В сб.: Исследование, конструирование и расчет резьбовых соединений. - Ульяновск: Ульяновск. политехнич. ин-т, 1973, вып. I.

4. С т а р ц е в Н.И. Трубопроводы газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1976.

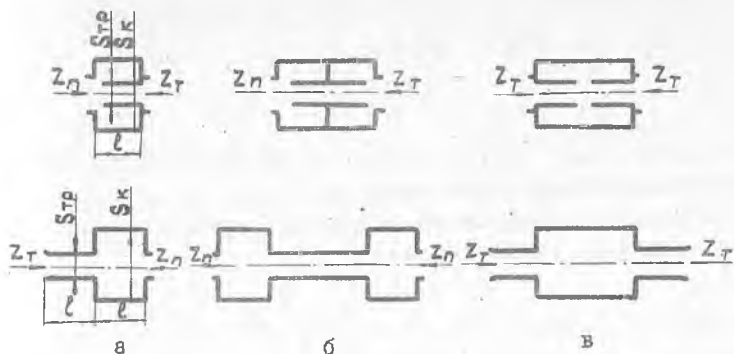
УДК 532.595.001

Л.И.Бруднов, А.Н.Головин, В.П.Шорин

К РАСЧЕТУ СОБСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ТИПА АКУСТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ НИЖНИХ ЧАСТОТ

При выборе той или иной схемы гасителя колебаний давления рабочей жидкости для конкретной трубопроводной системы необходимо знать собственные характеристики гасителей [1-3]. Учитывая то, что частоты колебаний в современных гидравлических магистралях авиационных двигателей чаще лежат в пределах 100-3000 Гц, расчеты собственных характеристик необходимо вести с учетом распределенности параметров по длине элементов гасителя.

В статье приведен расчет собственных характеристик так называемых Г-, Т-, П-образных звеньев акустических фильтров нижних частот (АФНЧ). Гидравлические схемы указанных звеньев изображены на рис. 1. При условии сосредоточенности элементов собственные характеристики указанных на рис. 1 схем соответственно в верхнем и нижнем ряду описываются одними и теми же формулами. Поэтому целесообразно сравнить поведение собственных характеристик при условии распределенности параметров для обоих видов гасителей.



Р и с. 1. Гидравлические схемы акустических фильтров нижних частот: а - Г-образные звенья; б - П-образные звенья; в - Т-образные звенья

При выводе расчетных зависимостей используем следующие допущения:

активные потери в элементах АФНЧ пренебрежимо малы в сравнении с реактивными;

фронт акустической волны в элементах гасителей считаем плоским.

Первоначально получим выражения для собственных характеристик Г-, Т-, П-образных звеньев, изображенных в верхнем ряду. Данные гасители назовем гасителями первого типа.

Собственные характеристики отрезка трубопровода заууженного сечения и расширительной камеры описываются соответствующими матрицами. При этом отрезок трубопровода представляется четырехполюсником с коэффициентами обобщенной матрицы передачи [1,2]:

$$A_1 = \cos \beta_{\text{тр}}; B_1 = j Z_{\text{втр}} \sin \beta_{\text{тр}}; C_1 = j \frac{\sin \beta_{\text{тр}}}{Z_{\text{втр}}}; D_1 = \cos \beta_{\text{тр}},$$

где $\beta_{\text{тр}} = \frac{\omega l_{\text{тр}}}{a}$; $Z_{\text{втр}} = \frac{\rho a}{S_{\text{тр}}}$; ω - круговая частота колебаний; $l_{\text{тр}}$, $S_{\text{тр}}$ - длина и площадь поперечного сечения отрезка трубопровода; ρ , a - плотность рабочей жидкости и скорость звука. Расширительная камера представляется двухполюсником с коэффициентами матрицы передачи

$$A_2 = 1; B_2 = 0; C_2 = j \frac{tg \beta_K}{Z_{\beta_K}}; D_2 = 1,$$

где $\beta_K = \frac{\omega l_K}{a}$; $Z_{\beta_K} = \frac{\rho a}{S_K}$; l_K, S_K - длина и площадь поперечного сечения расширительной камеры.

Коэффициенты общей матрицы передачи Г-образного звена выражаются следующими зависимостями:

$$A_{общ} = \cos \beta_{ГР}; B_{общ} = j Z_{\beta_{ГР}} \sin \beta_{ГР};$$

$$C_{общ} = j \frac{\cos \beta_{ГР}}{Z_{\beta_{ГР}}} (S tg \beta_K + tg \beta_{ГР}); D_{общ} = \cos \beta_{ГР} (1 - S tg \beta_{ГР} tg \beta_K). \quad (1)$$

Здесь $S = S_K / S_{ГР}$ - степень расширения.

Если в конструкции акустического фильтра выполняется условие $l_{ГР} = l_K$ ($\beta_{ГР} = \beta_K = \beta$), что соответствует реализации максимальной ширины полосы пропускания [2], то коэффициенты общей матрицы передачи примут вид

$$A_{общ} = \cos \beta; B_{общ} = j Z_{\beta_{ГР}} \sin \beta;$$

$$C_{общ} = j \frac{\sin \beta}{Z_{\beta_{ГР}}} (S+1); D_{общ} = \cos \beta (1 - S tg^2 \beta). \quad (2)$$

Исходя из соотношений (2), получим [3,4] коэффициент собственного затухания Г-образного звена АФНЧ:

$$K_{ср} = \left| \sqrt{A_{общ} D_{общ}} + \sqrt{B_{общ} C_{общ}} \right| = \left| \sqrt{\cos^2 \beta (1 - S tg^2 \beta)} + j \sqrt{\sin^2 \beta (S+1)} \right|. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что акустический фильтр является полосовым фильтром. Полосы пропускания чередуются с полосами не пропускания:

$$S tg^2 \beta < 1; K_c = 1 \quad - \text{полоса пропускания};$$

$$S tg^2 \beta > 1; K_c = \sqrt{\cos^2 \beta (S tg^2 \beta - 1)} + \sqrt{\sin^2 \beta (S+1)} \quad - \text{полоса не пропускания} \quad (4).$$

Волновое сопротивление со стороны расширительной камеры

$$Z_n = \sqrt{\frac{A_{обш} B_{обш}}{C_{обш} D_{обш}}} = Z_{бтр} \sqrt{\frac{1}{(1+S)(1-Stg^2\beta)}}$$

При расчете волнового сопротивления АФНЧ удобно пользоваться относительным волновым сопротивлением [4,5]. Для полосы непропускания относительное волновое сопротивление имеет вид

$$\bar{Z}_n = \frac{Z_n}{Z_{бтр}} = \frac{1}{j} \sqrt{\frac{1}{(1+S)(Stg^2\beta - 1)}} \quad (5)$$

Волновое сопротивление со стороны зауженного участка трубопровода

$$Z_r = \sqrt{\frac{B_{обш} B_{обш}}{C_{обш} A_{обш}}} = Z_{бтр} \sqrt{\frac{1-Stg^2\beta}{1+S}}$$

Для полосы непропускания относительное волновое сопротивление имеет вид

$$\bar{Z}_r = \frac{Z_r}{Z_{бтр}} = j \sqrt{\frac{Stg^2\beta - 1}{1+S}} \quad (6)$$

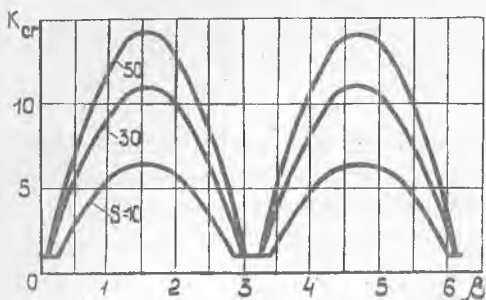
Зависимости (4)-(6) проиллюстрированы на рисунках 2-4.

Граничные частоты (переход из полосы пропускания в полосу непропускания и наоборот) определяются из условия $Stg^2\beta = 1$. Откуда

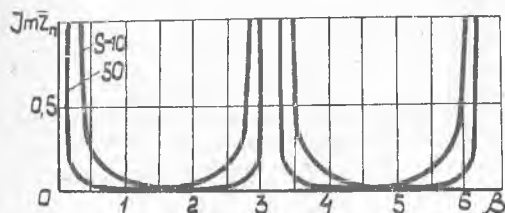
$$\omega_{гп} = \frac{a}{c} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{S}}$$

Для Т- и П-образных АФНЧ, составленных из выше рассмотренных Г-образных звеньев, выражения для относительных волновых сопротивлений и граничной частоты имеет тот же вид, что и для Г-образного звена.

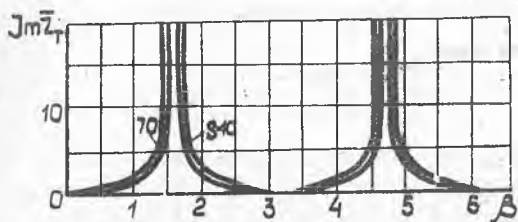
Коэффициент собственного затухания Т-, П-образных звеньев выражается следующей зависимостью: $K_{сг} = K_{сп} = K_{сг}^2$. Максимальная величина K_c реализуется при $\beta = \pi/2$. Для Г-, Т-, П-образных звеньев



Р и с. 2. Коэффициент собственного затухания Г-звена при разных степенях расширения



Р и с. 3. Относительное волновое сопротивление акустического фильтра со стороны емкости при различных степенях расширения



Р и с. 4. Относительное волновое сопротивление АФЧ со стороны отрезка трубопровода зауженного сечения при различных степенях расширения

ев максимальная величина собственного затухания определяется по формулам

$$(K_{cr})_{max} = \sqrt{S} + \sqrt{S+1};$$

$$(K_{cr, II})_{max} = (\sqrt{S} + \sqrt{S+1})^2.$$

В ряде случаев анализ выражений (4)–(6) может быть упрощен при замене координаты $\beta = \frac{\omega l}{a}$ на координату $\bar{\omega} = \beta \left[\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{I}{S}} \right]$.

Рассмотрим схемы гасителей колебаний, изображенные на рис. I в нижнем ряду (гасители второго типа). Г-образное звено данного типа образуется каскадным соединением двух четырехполюсников, коэффициенты матриц передачи которых выражаются следующими зависимостями:

$$A_1 = \cos \beta_{TP}; \quad B_1 = j Z_{\delta TP} \sin \beta_{TP};$$

$$C_1 = j \frac{\sin \beta_{TP}}{Z_{\delta TP}}; \quad D_1 = \cos \beta_{TP};$$

$$A_2 = \cos \beta_K; \quad B_2 = j Z_{\delta K} \sin \beta_K;$$

$$C_2 = j \frac{\sin \beta_K}{Z_{\delta K}};$$

$$D_2 = \cos \beta_K.$$

Коэффициенты общей матрицы передачи Г-образного звена при $\beta_{rp} = \beta_k = \beta$ имеют вид

$$H_{обш} = \cos^2 \beta (1 - S \operatorname{tg}^2 \beta); \quad B_{обш} = j \frac{Z_{бмп}}{2} \sin 2\beta (1 + \frac{1}{S});$$

$$C_{обш} = j \frac{\sin 2\beta}{2 Z_{бтр}} (S+1); \quad D_{обш} = \cos^2 \beta (1 - \frac{1}{S} \operatorname{tg}^2 \beta). \quad (7)$$

На основании зависимостей (7) получим выражения для собственных характеристики в полосе непропускания. Коэффициент собственного затухания

$$K_{cr} = \sqrt{\cos^4 \beta (S \operatorname{tg}^2 \beta - 1) (1 - \frac{1}{S} \operatorname{tg}^2 \beta)} + \sqrt{\frac{1}{4} \sin^2 2\beta \frac{(S+1)^2}{S}}. \quad (8)$$

Для Т-, П-образных звеньев $K_{cr, n} = K_{cr}^2$. Относительное волновое сопротивление со стороны расширительной камеры

$$\bar{Z}_n = \frac{1}{j} \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{S} \operatorname{tg}^2 \beta}{S (S \operatorname{tg}^2 \beta - 1)}}. \quad (9)$$

Относительное волновое сопротивление со стороны зауженного отрезка трубопровода

$$Z_x = j \sqrt{\frac{S \operatorname{tg}^2 \beta - 1}{S (1 - \frac{1}{S} \operatorname{tg}^2 \beta)}}. \quad (10)$$

Граничные частоты определяются из следующих выражений:

$$S \operatorname{tg}^2 \beta = 1; \quad (11)$$

$$\operatorname{tg}^2 \beta = S. \quad (12)$$

Граничные частоты гасителей первого типа при переходе из полосы пропускания в полосу непропускания и наоборот (нижняя и верхняя граничные частоты) определяются из выражения (11), что указывает на равенство нижних граничных частот обоих типов гасителей. Верхние граничные частоты определяются по различным формулам: у

гасителей первого типа - из уравнения (11); у гасителей второго типа - из уравнения (12). Причем легко заметить, что ширина полосы непропускания у гасителей второго типа значительно меньше, чем у первого типа.

Максимальная величина K_c у гасителей второго типа реализуется при $\beta = \frac{\pi}{4}$: $(K_{cr})_{\max} = \sqrt{S}$.

Максимальная величина K_{cr} для гасителей второго типа примерно вдвое меньше, чем у гасителей первого типа при одинаковых габаритах обоих типов гасителей. Характер изменения выражений (8), (9), (10) примерно такой же, как и у соответствующих выражений для гасителей первого типа.

В ы в о д ы

1. АФНЧ являются полосовыми фильтрами, причем протяженности полос гашения и пропускания колебаний зависят от степени расширения S . При увеличении S ширина полосы гашения увеличивается, а полоса пропускания уменьшается, т.е. снижается нижняя граничная частота и увеличивается верхняя.

2. Максимальная величина коэффициента собственного затухания зависит от параметра S и для реальных гасителей не принимает бесконечных значений, как это следует из расчета фильтра с сосредоточенными элементами.

3. Несмотря на то, что собственные характеристики гасителей первого и второго типов при условии сосредоточенности элементов выражаются одними и теми же формулами, при учете распределенности параметров собственные характеристики различаются. Изменяется ширина полос непропускания; максимальная величина коэффициента собственного затухания для Г-образного звена гасителей второго типа примерно в два раза меньше, чем для первого.

Л и т е р а т у р а

1. И н з е л ь П.И. Основы глушения шума выхлопа двигателями внутреннего сгорания - М.: Машиз, 1949.

2. Ш а и ш р о Б.К. Основы расчета глушителей шума выхлопа. - М.: Оборонгиз, 1943.

3. Ш о р и к В.П. К вопросу о гашении вынужденных колебаний давления в гидравлических системах летательных аппаратов и двигателей. - В сб.: Труды КуАИ - Куйбышев, 1967, вып. XXX.

4. Ш о р и к В.П. Проектирование гасителей колебаний типа акустического фильтра низких частот. - В сб.: Труды КуАИ - Куйбышев, 1972, вып. 51.

5. Ш о р и к В.П., Б р у д и о в Д.И. Об оценке эффективности, выборе схемы и места расположения в системе гасителя пульсирующей жидкости. - Авиационная техника, 1976, № I.

УДК 532.542

Н.Д.Быстров, А.Г.Гимадиев

КОРРЕКЦИЯ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

При исследовании колебательных процессов в воздушно-газовом тракте авиационных двигателей, в пневматических и гидравлических системах широко применяются датчики динамических давлений. Одним из основных требований, предъявляемых к этим датчикам, является высокая точность измерения колебаний давления в широком диапазоне частот.

Известно, что многие типы датчиков давления имеют в своей конструкции рабочую полость (динамическую камеру) и канал для подвода измеряемого давления. Динамическая камера и подводящий канал датчика образуют акустический колебательный контур. При частотах измеряемого давления, близких к собственной частоте $f_{\text{соб}}$ колебательного контура, показания датчика отличаются от истинных значений в несколько раз. Это обстоятельство не позволяет применять датчики в более широком диапазоне частот по сравнению с диапазоном частот, указанным в паспорте на датчик (обычно $0 - \frac{1}{3} f_{\text{соб}}$). Однако, применяя различные устройства коррекции частотных характеристик, можно добиться расширения частотного диапазона, в котором динамическая погрешность датчика не будет превышать заданной величины.

Одним из широко применяемых устройств коррекции частотной характеристики является дросселирующий элемент, устанавливаемый в подводящем канале датчика. Тем не менее такой способ выравнивания