

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 $f_{сод}$ 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 $0 - \frac{1}{3} f_{сод}$). 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

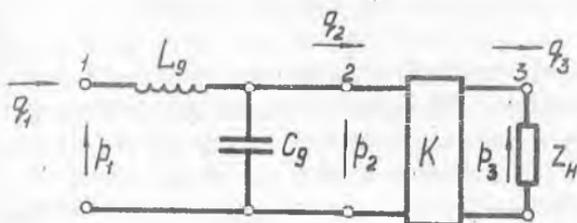
частотной характеристики датчика применим в диапазоне частот от 0 до $f_{\text{сод}}$. Кроме того, дросселирующий элемент при указанной установке в датчик подвержен засорению, что приводит к нестабильности характеристик и снижению точности измерения колебаний давления.

Другим, менее известным способом выравнивания частотной характеристики датчика, является установка корректирующего устройства в динамической камере датчика.

Преимущество этого способа заключается в выравнивании частотных характеристик выпускаемых датчиков в широком диапазоне частот колебаний. Однако отсутствие методики расчета таких устройств сдерживает применение этого способа коррекции.

В данной работе предлагается методика расчета корректирующего устройства, установленного в динамической камере датчика.

На основе электроакустической аналогии составлена схема параллельного включения корректирующего контура K в акустический контур датчика (рис. 1). Для определения параметров корректирующего контура решается система уравнений, описывающая распространение колебаний давления и расхода рабочей среды по рассматриваемой цепи.



Р и с. 1. Схема акустической цепи датчика давления с корректирующим контуром в виде произвольного четырехполюсника

При составлении системы уравнений приняты следующие допущения: акустическая индуктивность входного канала L_g и акустическая емкость динамической камеры C_g датчика не зависят от частоты колебаний; гидравлические потери во входном канале пренебрежимо малы, что допустимо при малых амплитудах колебаний давления; корректирующий четырехполюсник K нагружен сопротивлением $Z_H = \infty$.

Система уравнений с учетом принятых допущений запишется в следующем виде:

$$p_1 = (1 - \omega^2 L_g C_g) p_2 + j\omega L_g q_2; \quad (1)$$

$$q_1 = j\omega C_g p_2 + q_2; \quad (2)$$

$$p_1 = Ap_3 + Bq_3 \quad (3)$$

$$q_1 = Cp_3 + Dq_3 \quad (4)$$

где p_1, p_2, p_3 - векторы колебаний давления в соответствующих сечениях цепи; q_1, q_2, q_3 - векторы колебаний объемного расхода в соответствующих сечениях цепи; ω - круговая частота колебаний; $j = \sqrt{-1}$.

Используя для $Z_H = \infty$ условие $q_3 = 0$, выразим q_2 через p_2 из уравнений (3) и (4):

$$q_2 = \frac{C}{A} p_2$$

Подставив полученное соотношение в уравнение (1), получим:

$$p_2 = (1 - \omega^2 L_g C_g) p_2 + j\omega L_g \frac{C}{A} p_2 \quad (5)$$

Из уравнения (5) определим коэффициент передачи колебаний давления от входа датчика к динамической камере

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{1 - \omega^2 L_g C_g + j\omega L_g \frac{C}{A}} \quad (6)$$

Рассмотрим относительную частоту колебаний $\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}$, где ω_0 - резонансная частота датчика без корректирующего контура. Известно, что $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_g C_g}}$, тогда

$$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\frac{1}{\sqrt{L_g C_g}}} \quad (7)$$

Заметим, что C/A - есть обратная величина входного сопротивления корректирующего контура K , нагруженного на $Z_H = \infty$.

С учетом выражения (7) и $\frac{1}{Z_2} = \frac{C}{A}$ уравнение (6) приводится к следующему виду

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{1 - \bar{\omega}^2 + j\bar{\omega} \frac{1}{Z_2} \sqrt{\frac{L_g}{C_g}}} \quad (8)$$

Введем относительное входное сопротивление $\bar{Z}_2 = \frac{Z_2}{\sqrt{L_g/C_g}}$ корректирующего контура, нагруженного на $Z_H = \infty$, в равенство (8), тогда

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{1 - \bar{\omega}^2 + j \frac{\bar{\omega}}{\bar{Z}_2}} \quad (9)$$

Определим из выражения модуль коэффициента передачи давления

$$\left| \frac{P_2}{P_1} \right| = \frac{1}{\left[(1 - \bar{\omega}^2)^2 + \left(\frac{\bar{\omega}}{\bar{Z}_2} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (10)$$

Из уравнения (10) видно, что равномерность протекания амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) датчика будет определяться величиной \bar{Z}_2 .

Для определения \bar{Z}_2 , при котором обеспечивается минимальная погрешность измерения колебаний давления, необходим критерий оценки этой погрешности. Таким критерием может быть либо осредненная по формуле

$$J = \int_{\bar{\omega}_1}^{\bar{\omega}_2} \left| 1 - \left| \frac{P_2}{P_1} \right| \right| d\bar{\omega} \quad (11)$$

допускаемая погрешность измерения при заданном значении \bar{Z}_2 и диапазоне частот колебаний $(\bar{\omega}_1, \dots, \bar{\omega}_2)$.

Если принять допущение о независимости \bar{Z}_2 от $\bar{\omega}$, то $J = f(\bar{Z}_2, \bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2)$. Минимум интеграла J будет соответствовать такому режиму коррекции частотной характеристики, при котором погрешности передачи давления в диапазоне частот $\bar{\omega}_1, \dots, \bar{\omega}_2$ будут наименьшими.

Определив таким образом оптимальное значение \bar{Z}_{2opt} , можно по выражению (10) рассчитать АЧХ датчика с устройством коррекции в интересующем диапазоне частот.

Для конструктивной реализации корректирующего контура необходимо учесть, что $Z_2 = \bar{Z}_{2opt} \sqrt{\frac{L_g}{C_g}}$, т.е. входное сопротивление контура Z_2 пропорционально акустическому сопротивлению длинной линии с погонными индуктивностью L_g и емкостью C_g . Таким образом, корректирующий контур может быть реализован длинной линией, подключенной к динамической камере датчика и заглушенной на выходном конце.

Входное акустическое сопротивление длинной линии должно быть равно Z_2 или

$$\frac{\rho C}{S} = \bar{Z}_{20nm} \sqrt{\frac{L_g}{C_g}}, \quad (12)$$

где ρ - плотность рабочей среды; C - скорость звука в линии, заполненной рабочей средой; S - площадь поперечного сечения линии.

Из условия (12) определяется внутренний диаметр линии

$$d = 2 \sqrt{\frac{\rho C}{\pi \bar{Z}_{20nm} \sqrt{\frac{L_g}{C_g}}}}$$

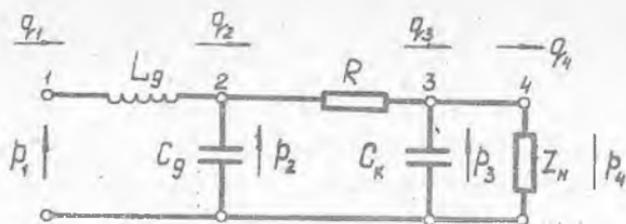
Длина линии L определяется из условия не отражения входного сигнала на вход линии, как предложено, например, в работе [1]. Конструктивно такая схема коррекции оформлена в работе [2].

Необходимо отметить, что при диаметрах линии более 1,5 мм длина линии значительно увеличивается. Для сокращения габаритов корректирующего контура единичная линия может быть заменена несколькими параллельно включенными линиями с большим сопротивлением, но значительно меньшей длиной. То же самое может быть сделано в случае отсутствия трубопровода нужного по расчету диаметра. Если обозначить диаметр трубопровода, которым располагает конструктор, через $d_{расч}$ и если $d_{расч} < d$, то нужное количество линий n определится из выражения

$$n = \left(\frac{d}{d_{расч}} \right)^2$$

Расчеты, проведенные для серийного датчика ДМИ-0, 6-П, работающего в воздушной среде, показывают, что при использовании корректирующего устройства в виде трех линий с $d = 1,0$ мм и $L = 400$ мм, подключенных к динамической камере датчика, диапазон равномерной передачи колебаний (+5,0%) может быть увеличен с 500 до 3100 Гц. Описанный способ коррекции в отдельных случаях приводит к необходимости существенной доработки датчика.

Более возможным и простым способом является коррекция с помощью низкочастотного $R-C$ фильтра, включенного параллельно динамической камере датчика и замкнутого на сопротивление $Z_H = \infty$ (рис. 2).



Р и с. 2. Схема акустической цепи датчика давления с корректирующим контуром в виде $R-C$ фильтра

В этом случае входное сопротивление корректирующего контура $Z_2 = R + \frac{1}{j\omega C_K}$, где R - активное сопротивление контура; C_K - акустическая емкость контура.

Используя уравнения (1) и (2), а также выражение для Z_2 , определим коэффициент передачи динамического давления в датчике с корректирующим $R-C$ контуром:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1 + j\omega C_K R}{1 - \omega^2 L_g (C_g + C_K) + j\omega C_K R (1 - \omega^2 L_g C_g)}$$

Введем относительные параметры

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt{\frac{L_g}{C_g}}} \quad - \text{ относительное сопротивление;}$$

$$\bar{C}_K = C_K / C_g \quad - \text{ относительная акустическая емкость корректирующего контура;}$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\sqrt{L_g C_g}} \quad - \text{ относительная частота,}$$

получим выражение для $\frac{p_2}{p_1}$:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1 + j\bar{\omega} \bar{R} \bar{C}_K}{1 - \bar{\omega}^2 (1 + \bar{C}_K) + j\bar{\omega} \bar{R} \bar{C}_K (1 - \bar{\omega}^2)} \quad (13)$$

На основании выражения (13) определим АЧХ датчика с устройством коррекции

$$\left| \frac{P_2}{P_1} \right| = \frac{[1 + \bar{\omega}^2 \bar{R}^2 \bar{C}_K^2]^{1/2}}{\left\{ [1 - \bar{\omega}^2 (1 + \bar{C}_K)]^2 + \bar{\omega}^2 \bar{R}^2 \bar{C}_K^2 (1 - \bar{\omega}^2)^2 \right\}^{1/2}} \quad (14)$$

Используя критерий вида (II), можно определить \bar{R} и \bar{C}_K для заданного частотного диапазона $\bar{\omega}_1, \dots, \bar{\omega}_2$, а также погрешности передачи колебаний давления в датчике с корректирующим $R-C$ контуром. Предложенный способ коррекции может быть также использован для выравнивания частотных характеристик емкостей с каналами в системах гидро- и пневмоавтоматики.

Л и т е р а т у р а

1. Гимадиев А.Г., Шорин В.П., Санчугов В.И. Выбор длины трубопровода, реализующего акустическую нагрузку. - Изв. высш.учеб.заведений - М.: Машиностроение, 1979, № 6.

2. Богданов И.В. Устройство для измерения пульсирующей давления газа: Авт.свид. № 427252. Сп.изобрет. № 17 от 5.05.74.

УДК 621.45.452:658.562

А.А.Верченков, И.В.Канунников,
М.К.Сидоренко, Е.Д.Стенькин

СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ СРЫВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПРЕССОРОВ ГТД

Для обеспечения требуемой надежности авиационных изделий важным является создание необходимых средств диагностики неустойчивых, так называемых "срывных" режимов работы компрессоров ГТД. Эти средства могут использоваться при эксплуатации изделий, на этапе доводки и при испытаниях полноразмерных ГТД, изолированных компрессоров