

Проектирование виброзащитной пневмоопоры производится в следующем порядке. По заданному значению коэффициента усиления  $R_{\text{опт}}$  находятся соотношения  $T_4/T_3$ ,  $T_2/T_1$  и  $\bar{\omega}_{\text{нпт}} = \omega/\omega_0$ . Так как величина  $\omega$  оговаривается условиями проектирования (следовательно, собственная частота  $\omega_0$  и статическая жесткость  $s$  известны), задача сводится к определению параметров проектируемой опоры, обеспечивающих требуемую величину статической жесткости.

Изложенная методика позволяет рассчитать рабочие параметры опоры по заданным коэффициенту усиления и резонансной частоте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ружичка Дж. Е. Активные виброзащитные системы. Экспресс-информация. Испытательные приборы и стенды, ВИНТИ, 1969, № 1.
2. Soliman J. J. Tajer Ardabili D. Aktiv soilation system using a pazzleflapper valve Proc, Inst. Mech. Engrs 1967—68, v. 182, 30.
3. Шмаков В. Т. Пневматические активные средства виброизоляции для прецизионных станков. В сб.: «Машиностроение». Тр. УПИ, т. IX, вып. 1. Ульяновск, 1973.
4. Чегодаев Д. Е., Белоусов А. И. Гидростатические опоры как гасители колебаний. В сб.: «Проектирование и доводка авиационных газотурбинных двигателей», вып. 67. КуАИ, 1974.
5. Ружичка Дж. Е. Резонансные характеристики направленных виброзащитных систем с демпфированным вязким и сухим трением. Тр. американского общества инженеров-механиков, сер. В, 89, 1967, № 4.

УДК 534.22:532.517.6

А. Г. Гимадиев, В. П. Шорин

#### О ВЫБОРЕ ВХОДНОГО ПАРАМЕТРА ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ДРОССЕЛИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

При расчете частотных характеристик гидравлических систем, включающих нелинейные дросселирующие элементы в виде диафрагм, жиклеров, демпферов, часто используется метод гармонической линеаризации.

В ряде работ, например [1], при гармонической линеаризации характеристик дросселирующих элементов гидравлические системы рассматриваются как звенья с четко обозначен-

ным входом и выходом. В качестве входного параметра произвольно выбирается расход жидкости или перепад давления на элементе.

Как показали расчеты, величины коэффициента линеаризации и функции смещения при прочих равных условиях зависят от выбора входного параметра. В статье на основе расчетных соотношений рассматривается влияние входного параметра на величины коэффициента линеаризации и функции смещения.

Сложную гидравлическую магистраль с одним дросселирующим элементом и одним источником моногармонических колебаний можно представить в виде эквивалентного источника колебаний с импедансом  $Z_{ист}$  и нагрузки  $Z_H$ , разделенных дросселирующим элементом (рис. 1).

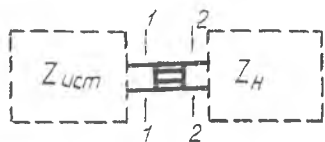


Рис. 1. Схема гидравлической магистрали

В общем случае движения жидкости характеристика дросселирующего элемента может быть представлена зависимостью

$$m \frac{dQ}{dt} + k_n Q + k_n Q^2 \operatorname{sign} Q = P_1 - P_2, \quad (1)$$

где  $Q$  — объемный расход;  $P_1, P_2$  — давление в сечениях 1—1 и 2—2;  $m$  — коэффициент, учитывающий эффективную колеблющуюся массу жидкости в объеме дросселирующего элемента;  $k_n$  — коэффициент, учитывающий линейные гидравлические потери;

$k_n = \begin{cases} k_n' & \text{при } Q \geq 0 \\ k_n'' & \text{при } Q \leq 0 \end{cases}$  — коэффициент, учитывающий нелинейные гидравлические потери на дросселирующем элементе.

Наибольшее влияние нелинейности дросселирующего элемента на характеристики магистралей проявляется в непроточном режиме работы элемента (см., например, [2]). Естественно, на этом режиме проявляются эффекты влияния входного параметра на точность линеаризации. Поэтому рассмотрим режим периодического движения жидкости через дросселирующий элемент с постоянной составляющей расхода, равной нулю.

После проведения гармонической линеаризации [3] зависимость (1) запишется в виде

$$(j m \omega + k_n + b) q = p_1 - p_2 \quad \text{— для переменных составляющих}$$

и в виде  $\overline{\Delta P} = F(A)$  или  $\overline{\Delta P} = F(B)$  — для постоянной составляющей перепада давления, где  $p_1, p_2$  — первые гармоники колебаний давления в сечениях 1—1 и 2—2;  $q$  — первая гармоника колебаний расхода через дросселирующий элемент;  $b$  — коэффициент гармонической линеаризации;  $\omega$  — круговая частота колебаний;  $\overline{\Delta P}$  — постоянная составляющая перепада давления на дросселирующем элементе;  $F$  — функция смещения;  $A$  — амплитуда первой гармоники колебаний расхода;  $B$  — амплитуда первой гармоники составляющей перепада давления, затрачиваемой на нелинейные гидравлические потери;  $j = \sqrt{-1}$ .

Коэффициент линеаризации  $b$  и постоянная составляющая перепада давления  $\overline{\Delta P}$  определяются из выражений:

$$b = b(A) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} (k_n A^2 \sin^2 \psi \operatorname{sign} \sin \psi) \sin \psi d\psi;$$

$$\overline{\Delta P} = \overline{\Delta P}_A = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} k_n A^2 \sin^2 \psi \operatorname{sign} \sin \psi d\psi \quad (2)$$

— в случае, когда входным параметром является расход;

$$b = b(B) = \left\{ \frac{1}{\pi B} \int_0^{2\pi} \frac{1}{\sqrt{k_n}} [V |\overline{\Delta P}_B + B \sin \psi| \operatorname{sign} (\overline{\Delta P}_B + B \sin \psi) \times \right. \\ \left. \times \sin \psi d\psi \right\}^{-1}; \quad (3)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{\sqrt{k_n}} V |\overline{\Delta P}_B + B \sin \psi| \operatorname{sign} (\overline{\Delta P}_B + B \sin \psi) d\psi = 0;$$

$$\psi = \omega t$$

— в случае, когда входным параметром является перепад давления на дросселирующем элементе.

Когда модули импедансов эквивалентного источника колебаний и (или) нагрузки значительно превышают модуль импеданса дросселирующего элемента, входным параметром является расход, и поэтому при расчетах используются зависимости (2). Если модуль импеданса дросселирующего элемента значительно превышает модули импедансов эквивалентного источника и нагрузки, то входным параметром является

перепад давления, и для расчетов следует применять формулы (3). Когда трудно оценить, что является входным параметром, при расчетах применяются осредненные значения коэффициента линеаризации и постоянного перепада давления, определенные по соотношениям (2) и (3).

Расчетные выражения для коэффициента  $b$  и  $\Delta \bar{P}$ , полученные из зависимостей (2), имеют вид:

$$b(A) = \frac{4(k'_n + k''_n)}{3\pi} A; \quad (4)$$

$$\Delta \bar{P}_A = \frac{k'_n - k''_n}{4} A^2. \quad (5)$$

Совместное численное интегрирование выражений (3) дает следующий результат:

$$b(B) = \frac{3,5 - 0,6(\bar{k}_n - 1)^{0,81}}{\pi \sqrt{k''_n B}}; \quad (6)$$

$$\Delta \bar{P}_B = \frac{\bar{k}_n - 1}{2,15(\bar{k}_n + 1)} B, \quad (7)$$

где  $\bar{k}_n = \frac{k'_n}{k''_n}$  — коэффициент несимметричности дросселирующего элемента.

Максимальные погрешности аппроксимации точных выражений для  $b(B)$  и  $\Delta \bar{P}_B$  приближенными соотношениями (6) и (7) составляют соответственно 1 и 4%.

Используя формулы связи между  $A$  и  $B$ , соотношения (4) — (7) можно привести к виду:

$$b = \frac{4\sigma(k'_n + k''_n)}{3\pi} A;$$

$$\Delta \bar{P}_B = \frac{\bar{\sigma}(k'_n - k''_n)}{4} A^2,$$

где  $\sigma$  и  $\bar{\sigma}$  — поправочные коэффициенты;

$\sigma = \bar{\sigma}_1 = 1, \bar{\sigma} = \bar{\sigma}_1 = 1$  — если входным параметром является расход;

$$\sigma = \bar{\sigma}_2 = \frac{3\pi^3}{4(\bar{k}_n + 1) [3,5 - 0,6(\bar{k}_n - 1)^{0,81}]^2};$$

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_2 = \frac{4}{2,15(\bar{k}_n + 1) [3,5 - 0,6(\bar{k}_n - 1)^{0,81}]^2}.$$

— если входной параметр — перепад давления на дросселирующем элементе;

$$\sigma = \sigma_3 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}; \quad \bar{\sigma} = \bar{\sigma}_3 = \frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2}{2},$$

— если модуль импеданса дросселирующего элемента соизмерим с модулями  $Z_{\text{ист}}$  и  $Z_{\text{н}}$ .

Разница в коэффициентах гармонической линеаризации при различных входных параметрах составляет 5,1% при  $\bar{k}_{\text{н}} = 1$  и 7,9% при  $\bar{k}_{\text{н}} = 2$  (рис. 2), а постоянных составляющих перепада давления соответственно — 23,9 и 26,2% (рис. 3).

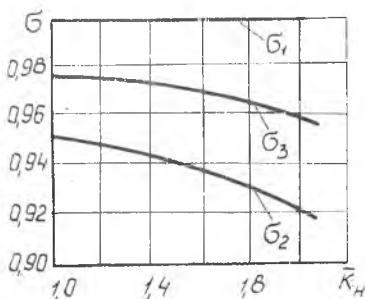


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента  $\sigma$  и  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  от  $\bar{k}_{\text{н}}$

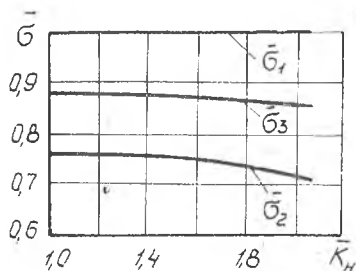


Рис. 3. Зависимость поправочного коэффициента  $\bar{\sigma}$  и  $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \bar{\sigma}_3$  от  $\bar{k}_{\text{н}}$

Если принимать  $\sigma = \sigma_3$  и  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_3$ , то максимальная погрешность, которую можно получить при расчетах от незнания входного параметра, для коэффициента гармонической линеаризации составляет 4%, а для функции смещения — 13,1%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Таршин М. С. Контроль гидравлических сопротивлений. М., «Машиностроение», 1966.
2. Гимадиев А. Г., Шорин В. П. О расчете частотных характеристик безрасходных магистралей, содержащих сосредоточенное сопротивление. М., «Машиноведение», 1972, № 6.
3. Попов Е. П., Пальтов И. П. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. М., Физматгиз, 1960.