

УДК 534.833

Н.В.Герасимов, Ю.В.Шателов

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ  
ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ

В работе рассматривается задача защиты объектов от нестационарных возмущений типа дорожных неровностей. Виброзащитная система, обеспечивающая качественное решение этой задачи, должна подстраивать свои параметры в соответствии с изменяющимися характеристиками возмущения. Предлагается использовать принцип самонастройки, основанный на применении частотных фильтров. Такие адаптивные системы просты в реализации и, что особенно важно для существенно нестационарных возмущений, позволяют получить сформированные режимы самонастройки [1-2].

Сформулируем задачу. Пусть имеется некоторая линейная виброзащитная система, частотная характеристика  $W_{\ddot{x}}(i\omega, \psi)$  которой является функцией некоторого управляемого параметра, например, коэффициента демпфирования  $\psi$ . Здесь  $\ddot{x}$  - ускорение защищаемого объекта,  $\omega = \Omega/\Omega_0$  - безразмерная частота возмущения,  $\Omega_0$  - собственная частота системы. На эту систему действует нестационарное случайное возмущение  $f(t)$ . Требуется найти алгоритм подстройки параметра  $\psi$ , обеспечивающий поддержание минимума дисперсии ускорения объекта  $D_{\ddot{x}}$  при изменении спектрального состава возмущения  $S_f(\omega)$ .

Рассматривая нестационарное возмущение, будем полагать, что его можно разбить на отдельные участки, статистические характеристики которых постоянны или изменяются незначительно.

Тогда для отдельного участка дисперсию ускорения объекта можно определить по формуле

$$D_{\ddot{x}} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_{\ddot{x}}^2(\omega, \psi) \cdot S_f(\omega) d\omega, \quad (1)$$

где  $W_x(z, \psi)$  - модуль частотной характеристики виброзащитной системы.

Дисперсия ускорения, так же как и частотная характеристика, является функцией управляемого параметра  $\psi$ . Минимум дисперсии ускорения будет достигаться при равенстве нулю ее частной производной. Учитывая также, что спектральная плотность входного воздействия  $S_f(z)$  не зависит от  $\psi$ , получим условие экстремума в виде

$$\frac{\partial D_y}{\partial \psi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial W_x^2(z, \psi)}{\partial \psi} S_f(z) dz = 0. \quad (2)$$

В определенных случаях условие (2) позволяет найти алгоритм подстройки и по нему построить контур самонастройки параметра  $\psi$ , обеспечивающий поддержание минимума дисперсии ускорения объекта.

Рассмотрим два частных случая: модель одномассовой и двухмассовой виброзащитной системы.

Модуль частотной характеристики одномассовой системы виброзащиты (рис. 1) определяется выражением

$$W_x(z, \psi) = z^2 \sqrt{(1 + 4\psi^2 z^2) / [(1 - z^2)^2 + 4\psi^2 z^2]}$$

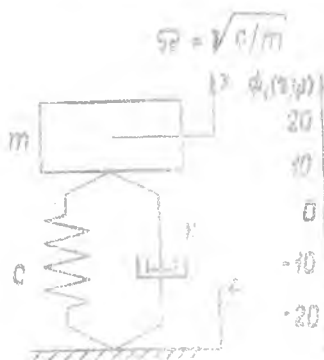


Рис. 1

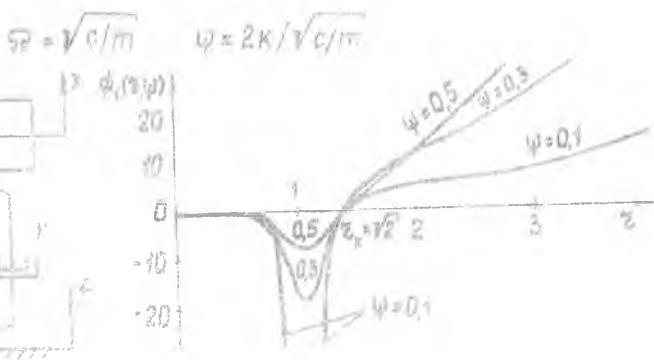


Рис. 2

Дифференцируя  $W_x^2(z, \psi)$  по  $\psi$  и подставляя в (2), получим

$$\frac{\partial D_y}{\partial \psi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(z, \psi) S_f(z) dz = 0. \quad (3)$$

$$\phi(z, \psi) = 8\psi z^6 (z^2 - 2) / [(1 - z^2)^2 + 4\psi^2 z^2]^2$$

Функция  $\Phi(z, \psi)$  в зависимости от  $z$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения (рис. 2).

Учитывая, что  $S_f(z)$  всегда положительная величина, а частота  $z_* = \sqrt{2}$  раздела знака функции  $\Phi_1(z, \psi)$  не зависит от  $\psi$ , можно получить условия экстремума (3) в виде

$$\frac{\partial D_{\ddot{x}}}{\partial \psi} = \frac{1}{\pi} \int_0^{z_*} \Phi(z, \psi) S_f(z) dz + \frac{1}{\pi} \int_{z_*}^{\infty} \Phi(z, \psi) S_f(z) dz = 0. \quad (4)$$

Отсюда следует, что даже с изменением спектральной плотности возмущения  $S_f(z)$  подстройкой  $\psi$  можно добиваться постоянного выполнения условия (4) и поддерживать минимум дисперсии ускорения.

Если перестройку вести по методу градиента [3], то

$$\dot{\psi} = -\lambda \frac{\partial D_{\ddot{x}}}{\partial \psi} = -\frac{\lambda}{\pi} \int_0^{z_*} \Phi(z, \psi) S_f(z) dz - \frac{\lambda}{\pi} \int_{z_*}^{\infty} \Phi(z, \psi) S_f(z) dz. \quad (5)$$

Аналогичный результат можно получить и для двухмассовой системы (рис. 3). Условие экстремума (2) имеет здесь также вид (3), но функция  $\Phi(\psi, z)$  будет иной:

$$\Phi_2(\psi, z) = 2z^4 \psi (4z^2 \alpha^2 - \beta^2) / (\alpha^2 + \beta^2 \psi^2)^2,$$

где  $\alpha = (z^4/d) - [z^2(1+dn+n)/dn] + 1$ ,

$\beta = 2z - 2z^3(1+d)/dn$ ,  $d = m/m_1$ ,  $n = c_2/c$ ,  $z = \omega/\sqrt{c/m}$ .

И в этом случае корни функции  $\Phi_2(\psi, z)$  не зависят от  $\psi$ . Вид функции  $\Phi_2(\psi, z)$  для различных  $\psi$  при  $d = 10$  и  $n = 10$ , типичных для подвесок транспортных средств, показан на рис. 4.

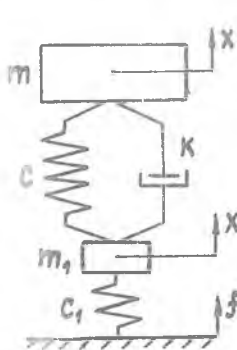


Рис. 3

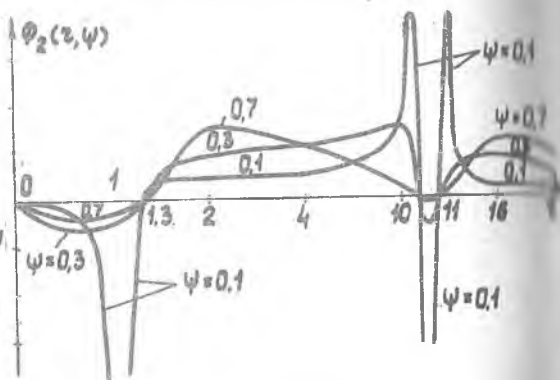


Рис. 4

Учитывая поведение функции  $\phi_2(z, \psi)$ , условие экстремума получим в виде

$$\dot{\psi} = -\frac{\lambda}{\pi} \int_0^{z_1} S_f \cdot \phi_2(\psi, z) dz - \frac{\lambda}{\pi} \int_{z_1}^{z_2} S_f \phi_2(\psi, z) dz - \\ - \frac{\lambda}{\pi} \int_{z_2}^{z_3} S_f \cdot \phi_2(\psi, z) dz - \frac{\lambda}{\pi} \int_{z_3}^{\infty} S_f \phi_2(\psi, z) dz. \quad (6)$$

Выражение (5) и (6) можно использовать в качестве алгоритма, обеспечивающего минимум дисперсии ускорения защищаемого объекта.

Для одномассовой модели виброзащиты контур самонастройки (рис. 5) может быть выполнен с помощью двух полосовых фильтров (для двухмассовой модели - четырех фильтров), двух детекторов и интегратора. Входным сигналом для контура самонастройки является ускорение объекта.

Динамика работы контура самонастройки исследовалась моделированием на аналоговой вычислительной машине МН-7М.

Низкочастотный фильтр реализовывался звеном с передаточной функцией  $W_{ФНЧ} = 1/(\omega_0^{-1} p + 1)^2$ , а высокочастотный - звеном с передаточной функцией  $W_{ФВЧ} = p/(\omega_0^{-1} p + 1)^2$ , где  $\omega_0 = \sqrt{2} \cdot \omega_p$ . Сигнал с фильтров детектировался двухполупериодным выпрямителем на диодах. Нелинейный интегратор с передаточной функцией  $W_{\text{инт}} = K_{\text{инт}} \cdot n/p$ , учитывающий, что коэффициент сопротивления в реальных пассивных системах не может принимать отрицательных значений, моделировался схемой, приведенной на рис. 6.

Случайный процесс задавался с генератора шума ПШ-1 через формирующий фильтр. Изменение спектральных характеристик возмущения производилось переключением параметров формирующего фильтра.

Исследования показали (рис. 7), что характер переходного процесса настройки и дальнейший режим работы зависит от коэффициента усиления интегратора  $K_{\text{инт}}$ . Малым значениям  $K_{\text{инт}}$  соответствуют затянутые переходные процессы. С увеличением  $K_{\text{инт}}$  возрастают скорость подстройки и флуктуации подстраиваемого параметра.

Высокие значения  $K_{\text{инт}}$  при реализации требуют быстродействующего исполнительного органа, что является недостатком. Однако в этом случае система качественней работает при резких и частых изменениях спектральных характеристик возмущения, т.е. когда нестационарность велика.

Кроме того, процесс исследования показал, что контур самонастройки устанавливает величину демпфирования, близкую к

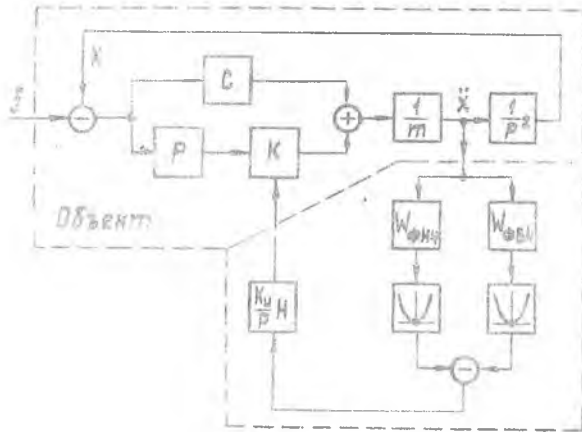


Рис. 5

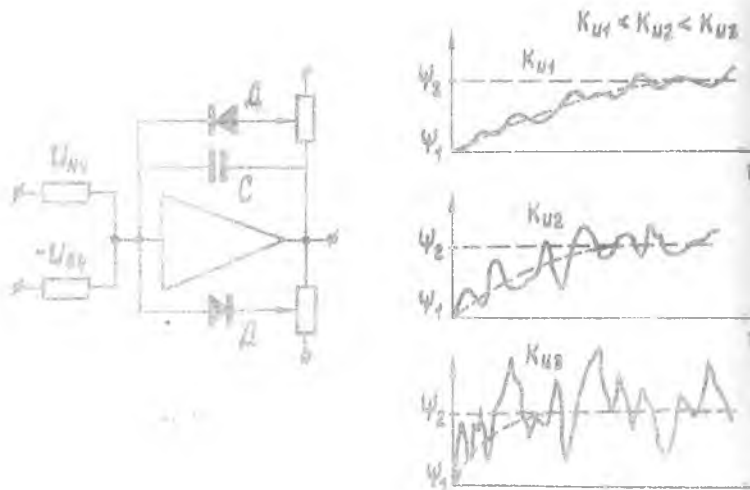


Рис. 7

минимальному значению демпфирования, полученному теоретически для заданного стационарного спектра возмущений.

Таким образом, высокая точность устанавливаемого оптимального демпфирования и достаточно большая скорость его перестройки обеспечивают высокое качество виброзащиты объекта от нестационарных воздействий. Простота и надежность работы контура самонастройки позволяют говорить о возможности использования подобных систем в практических разработках.

### Л и т е р а т у р а

1. Козлов М.С., Федоренко Г.И. Динамика самонастраивающейся системы управления полетом, сохраняющей заданный запас устойчивости. - В кн.: Самонастраивающиеся автоматические системы. М., "Наука", 1965.

2. Петров Б.Н. и др. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем управления. М., "Машиностроение", 1972.