

УДК 534.833.524.2

Н.В.Герасимов, Ю.В.Шатилов

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ АКТИВНОГО ВИБРОЗАЩИТНОГО
 УСТРОЙСТВА С НЕЛИНЕЙНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ

Активная виброизоляция на основе элементов, потребляющих энергию, является относительно новым направлением виброзащиты. Как показали исследования, в случае широкополосного возмущения устройства активной виброизоляции, как правило, эффективны лишь при быстродействующих регуляторах и достаточно мощных источниках энергии [1-3]. Поэтому несмотря на ряд достоинств по сравнению с пассивными амортизаторами активные подвески широкого применения в настоящее время не получили.

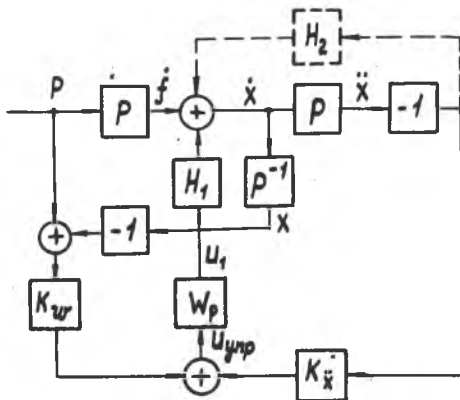


Рис. 1

В предлагаемой статье исследуется схема гидравлического виброзащитного устройства (рис. 1) с нелинейной корректирующей связью по ускорению (пунктирная линия на рис. 1). Такая коррекция позволяет при ограниченной мощности источника энергии и значительной инерционности регулятора расширить частотный диапазон работы активной подвески и улучшить качество виброизоляции.

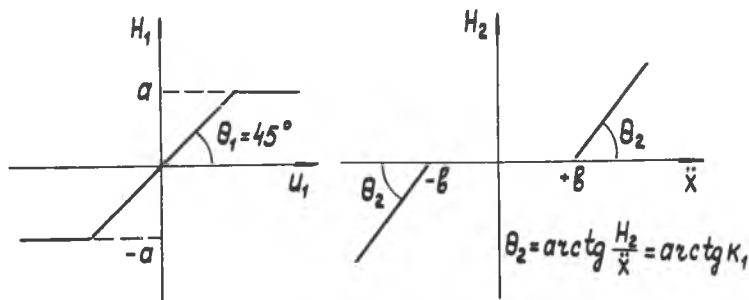


Рис. 2

При исследовании инерционность регулятора описывалась его передаточной функцией, обозначенной на рис. 1 через W_p , а ограничение по мощности источника энергии учитывалось звеном с нелинейной характеристикой H_1 , приведенной на рис. 2а. Вид нелинейности H_2 в цепи коррекции показан на рис. 2б. Как видим, дополнительная обратная связь подключается только при больших значениях ускорения, превосходящих некоторый уровень \hat{b} . Уровень подключения выбирается исходя из величины динамического возмущения, собственной частоты исходной нескорректированной линейной системы, мощности источника энергии и инерционности регулятора.

Ниже приведены некоторые сравнительные результаты исследования, полученные моделированием на аналоговой вычислительной машине. Моделировалась следующая система уравнений, описывающая активную подвеску согласно схеме на рис. 1:

$$\begin{aligned} \dot{\dot{x}} &= \dot{f} - \dot{\dot{x}}_1 - \dot{\dot{x}}_2, \\ \dot{\dot{x}}_1 &= H_1(u_1) = \begin{cases} u_1 & \text{при } u_1 < a \\ a & \text{при } u_1 \geq a, \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_1 &= W_p U_{упр}, \\
 U_{упр} &= K_w (X-f) + K_{\ddot{x}} \ddot{X}, \\
 \dot{X}_2 = H_2(\ddot{X}) &= \begin{cases} K_1 \ddot{X} & \text{при } \ddot{X} > \bar{b} \\ 0 & \text{при } \ddot{X} \leq \bar{b} \end{cases},
 \end{aligned}
 \tag{I}$$

где f - кинематическое воздействие; X , \dot{X} , \ddot{X} - соответственно перемещение, скорость и ускорение защищаемого объекта; K_w , $K_{\ddot{x}}$ - коэффициенты в обратных связях по относительному смещению и ускорению; $U_{упр}$ - управляющий сигнал на входе расходного регулятора.

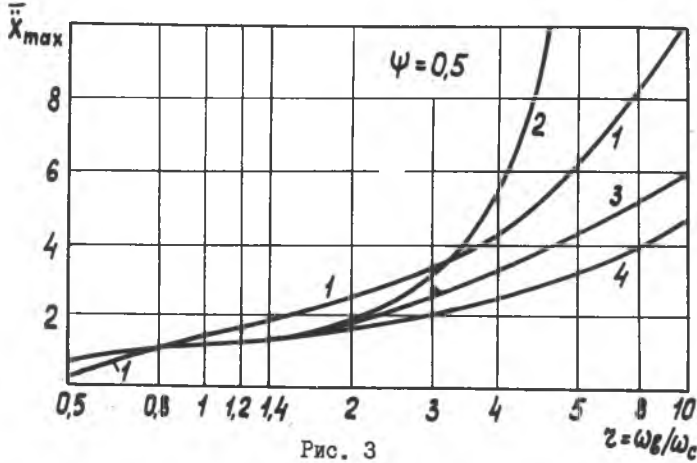


Рис. 3

Результаты расчетов при входном гармоническом возмущении $f = f_0 \sin \omega_g t$ даны на рис. 3 в виде амплитудно-частотных характеристик ускорений защищаемого объекта.

Характеристика 1 соответствует исходной линейной виброзащитной системе без запаздывания в регуляторе и ограничений на мощность источника энергии.

Инерционность системы управления и ограничение по максимальному расходу приводят к резкому увеличению перегрузок при высокочастотных возмущениях. Это видно по поведению характеристики 2, полученной при ограниченном максимальном расходе с относительным коэффициентом $\alpha = \frac{a}{\omega_c f_0} = 4,25$ и запаздывании, определяемом пе-

редаточной функцией $W_p = \frac{1}{(K_1/\omega_c)^{p+1}}$ где $\omega_c = \sqrt{\frac{K_{\text{нл}}}{K_{\text{л}}}}$ - собственная частота линейной системы, $K_1 = 0,5$.

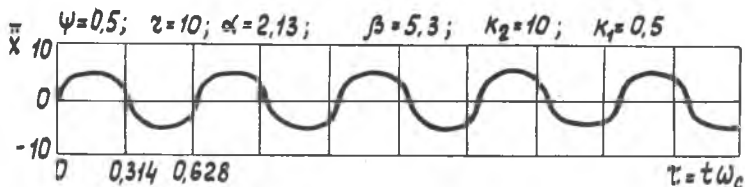


Рис. 4

Введение коррекции позволяет снизить ускорения объекта не только по сравнению с ускорениями при виброзащитной системе с инерционностью и ограниченной мощностью источника энергии, но и по сравнению с ускорениями при линейной системе. Так характеристики 3 и 4 получены для подвески с инерционным регулятором $K_1 = 0,5$ и ограниченным расходом $\alpha = 4,25$ при различных амплитудах входного воздействия. Параметры в цепи нелинейной коррекции для графика 3 были приняты $\beta = \frac{K}{\omega_c T_2} = 10,6$, $K_2 = 10$, для графика 4 - $\beta = 5,3$, $K_2 = 10$. Из характеристик 3 и 4 также следует, что увеличение амплитуды возмущения (график 4) приводит к уменьшению относительных ускорений объекта. Следовательно, виброизолирующие характеристики виброзащитного устройства, скорректированного нелинейной обратной связью, зависят от амплитуды возмущения.

Степень ослабления динамического воздействия зависит от величины параметров нелинейной связи β и K_2 . Величина β определяет амплитуду, с которой обратная связь начинает работать, а величина K_2 - глубину этой связи. Чем меньше β и больше K_2 , тем выше виброизолирующие свойства активной подвески.

Оциллограмма на рис. 4 иллюстрирует характер изменения ускорения при гармоническом возмущении.

Работа подвески при единичном сглаженном ступенчатом возмущении показана на рис. 5. Графики с индексом 1 соответствуют переходному процессу в линейной виброзащитной системе, с индексом 2 - нелинейной системе с ограниченной мощностью и инерционностью в управлении ($\alpha = 1,6$, $K_1 = 0,5$), с индексом 3 - переходному процессу в нелинейной системе с коррекцией ($\alpha = 1,6$, $K_1 = 0,5$,

$\beta = 4,25, K_2 = 10$). Сравнение графиков показывает, что и в этом случае нелинейный корректирующий элемент может дать выигрыш по ускорению, достигаемый при большей величине обжатия амортизатора $W = (x - f)$.

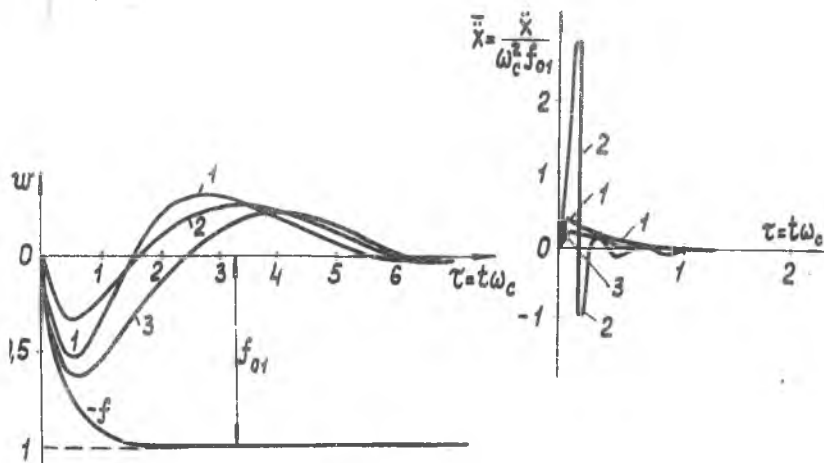


Рис. 5

Все исследования выполнены при относительном коэффициенте затухания $\psi = \frac{1}{2\sqrt{K_{ув} K_{\ddot{x}}}} = 0,5$.

Итак, рассмотренная коррекция позволяет создать высокоэффективную широкополосную виброзащитную систему при невысоких требованиях к динамическим характеристикам регулятора и экономичную в эксплуатации.

Л и т е р а т у р а

1. М.З.Коловский. Автоматическое управление виброзащитными системами. М., "Наука", 1976.
2. Я.И.Заяц, Б.Д.Цвик. О потенциальных возможностях электрогидравлической виброзащитной системы. - В сб.: Влияние вибраций на организм человека и проблемы виброзащиты. М., "Наука", 1974.
3. Ю.Г.Сафронов, А.В.Кинев, В.С.Соловьев. Исследование электрогидравлической системы виброизоляции человека-оператора. - В сб.: Влияние вибраций на организм человека и проблемы виброзащиты. М., "Наука", 1974.