

Секция  
«ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ»

---

УДК 537.84

**Теоретический анализ и оптимизация параметров  
инерционного гасителя колебаний**

Атаманчук М.И.

Научный руководитель: ст. преподаватель Погирницкая С.Г.  
Белорусский национальный технический университет

Использование локальных демпфирующих магнитожидкосных систем особо перспективно для гашения низкочастотных колебаний малой амплитуды. Корпус гасителя заполнен магнитной жидкостью и в него помещён постоянный магнит. При этом возникает эффект левитации постоянного магнита в объёме магнитной жидкости, благодаря чему магнит не касается корпуса гасителя и в устройстве обеспечено отсутствие сухого трения. При колебательном движении демпфируемой конструкции возникает течение жидкости в зазоре между магнитом и корпусом за счёт инерциальной задержки движения магнита, причём течение вызывают сколь угодно малые силы. Энергия механических колебаний диссипируется за счёт вязкого трения.

С целью анализа эффективности инерционного гасителя вынужденных колебаний и оптимизации его параметров используется динамическая модель колебательной системы, построенная для свободных колебаний (рисунок 1).

Рассматривается одномерная система. Колеблющийся объект представлен массой  $M$ , совершающий колебания под действием пружин жесткостью  $k/2$ .

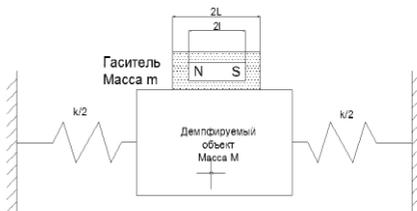


Рисунок 1

Корпус гасителя длиной  $2L$  заполнен магнитной жидкостью и внутри него помещён постоянный магнит длиной  $2l$  и массой  $m$ .

При отклонении от положения равновесия масса  $M$  под действием упругих сил начинает совершать колебательное движение вместе с жестко связанным с ним корпусом. Инерциальная масса  $m$

также приходит в движение из-за взаимодействия с окружающей жидкостью.

Система уравнений, описывающая динамику, имеет вид:

$$\begin{cases} M \ddot{x}_1 + kx_1 - f_{mp} - f_{\epsilon 3} = 0 \\ m \ddot{x}_2 + f_{mp} + f_{\epsilon 3} = 0 \end{cases}$$

где  $f_{\text{тр}}$  – сила вязкого трения,  $f_{\text{вз}}$  – равнодействующая сил отталкивания магнита, помещенного в магнитную жидкость от стенок корпуса. Координата  $x_1$  отсчитывается от положения равновесия объекта и связана лабораторной системой координат, а система  $x_2$  связана с корпусом гасителя и начало координат находится в положении равновесия магнита внутри корпуса.

Сила вязкого трения пропорциональна скорости движения магнита относительно корпуса:

$$f_{mp} = C(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)$$

где  $C$  – коэффициент вязкого трения.

Равнодействующая сил отталкивания магнита от боковых стенок  $f_{\epsilon 3} = f_1 - f_2$ , возвращает инерциальную массу  $m$  в положение равновесия. Сила  $f_{\text{вз}}$  существенно не линейно зависит от величины смещения магнита от положения равновесия. Это означает, что инерционная масса  $m$  не имеет собственной частоты колебаний. Система уравнений (1), описывающая эти нелинейные колебания является и не имеет аналитического решения. Колебания динамической системы с инерционным гасителем колебаний исследовались численно методом Рунге- Кутты. Система была решена средствами MatLab.

Для результирующей силы  $f_{\text{вз}}$  бралась следующая экспериментальная зависимость:

$$f_{\epsilon 3} = 10(e^{-2500\Delta_2} - e^{-2500\Delta_1})$$

где  $\Delta_2$  и  $\Delta_1$  – расстояния между магнитом и боковыми стенками корпуса, ограничивающего его движение.

Один из конструктивных параметров инерционного гасителя колебаний, которых может изменяться в широких пределах, это величина зазора между корпусом и боковыми стенками корпуса.

Некоторое представление о характере влияния длины корпуса  $L$  на демпфирующие характеристики дают результаты численного

расчёта колебаний объекта, выполненные для указанных выше значений параметров, длина магнита  $2l = 40$  мм. На рис. 2, 3, 4 показаны колебания объекта при длине корпуса  $L = 23; 23,3; 24$  мм, начальной амплитуде колебаний  $a_0 = 1$  мкм, частоте  $f = 2$  Гц.

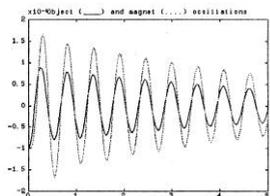


Рисунок 2

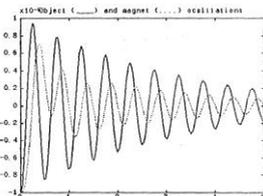


Рисунок 3

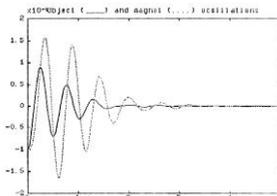


Рисунок 4

По рассчитанным осциллограммам определялся декремент затухания

$$\delta = (\ln a_0 / a_n) / n$$

где  $n$  – число отсчитанных периодов,  $a_n$  – амплитуда на  $n$ -ом периоде. На рис. 5 показана зависимость декремента затухания  $\delta$  от величины зазора –  $L-l$ ,  $l = 20$  мм, при частоте  $f = 2$  Гц, амплитуда колебаний  $a_0 = 1$  мкм. Видно, что кривая имеет типично резонансный характер, т.е. наиболее эффективно гаситель работает в сравнительно узком диапазоне.

Исследования показали, что с ростом частоты колебаний оптимальная величина зазора между магнитом и боковыми стенками корпуса уменьшается, с ростом амплитуды колебания оптимальная величина зазора увеличивается.

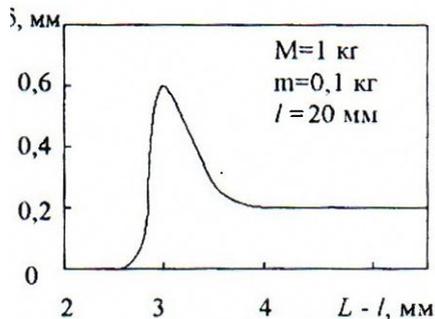


Рисунок 5. Типичная зависимость величины зазора от декремента затухания