

ОСОБЕННОСТИ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТРЕНИЯ ПОКОЯ ВЛОЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ЧАСТОТЫ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

к.т.н. А.В. Ковтун

(представил д.т.н., проф. Ю.С. Воробьев)

Получены выражения для определения зависимости эффективных коэффициентов сухого трения покоя вложенных конструкций от частоты вибрационного воздействия. Приведены результаты расчетов и экспериментов.

Одной из главных проблем, стоящих перед современной наукой, является обеспечение надежности и продление ресурса машин. Среди многих явлений, приводящих к эксплуатационным повреждениям узлов и деталей машин, наиболее опасными являются трение, износ и динамическая усталость [1]. В первую очередь, это относится к механическим системам, элементы которых связаны между собой силами сухого трения. Такие системы широко распространены в технике, особенно в узлах контактирования элементов с трением. Если контакт тела с контртелом происходит по противоположным поверхностям (назовем такие конструкции вложенными), то это приводит к возникновению новых эффектов, учет которых необходим для обеспечения повышенной надежности машин.

Известно, что при действии вибрации на механические системы с трением возникают своеобразные вибрационные эффекты, основным из которых является эффект изменения под действием вибрации реологических свойств взаимодействующих элементов [2].

Взаимодействие вложенных конструкций с вибрирующим основанием приводит к специфическим проявлениям виброреологических эффектов. Сущность возникающих эффектов может быть пояснена на примере простейших расчетных схем. Одной из таких схем является однородное тело массой m , расположенное между двумя поверхностями трения. При этом верхняя плоскость связана с основанием через предварительно поджатый упругий элемент жёсткостью k (рис.1).

Пусть на тело действует сила T , направленная параллельно плоскостям. Величина силы, сжимающей тела касания, равна $(k\Delta y + mg)$. Смещению тела в горизонтальном направлении препятствует сила трения покоя F_0 . Для того, чтобы тело начало двигаться вдоль плоскостей при отсутствии силы Φ , необходимо, чтобы величина силы T была равна T_0 :

$$T_0 = f N = f (2k \Delta y + mg), \quad (1)$$

где Δy - величина предварительного поджатия упругого элемента верхней плоскости.

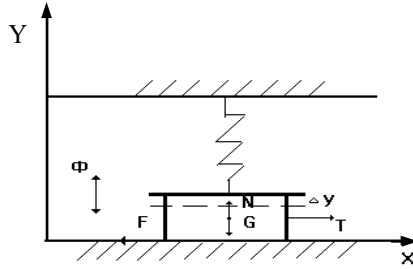


Рис.1. Схема вложенной конструкции

При наличии гармонической силы Φ , направленной перпендикулярно плоскостям, вызывающей упругие колебания массы m , начало движения произойдет под действием силы T_1 :

$$T_1 = f(2k \Delta y + mg - \Phi) = f(2k \Delta y + mg - ky - m\ddot{y}), \quad (2)$$

где y - перемещение верхней плоскости под действием силы Φ .

Эффективный коэффициент сухого трения покоя в этом случае определяется из выражения

$$f_1 = \frac{T_1}{N_0} = \frac{f(2k \cdot \Delta y + mg - ky - m\ddot{y})}{k \cdot \Delta y + mg}. \quad (3)$$

В том случае, когда $k\Delta y \gg mg$, последнее выражение можно упростить

$$f_1 = f \left(\frac{2k\Delta y - ky}{k\Delta y} \right) = f \left(2 - \frac{y}{\Delta y} \right) = f \left(2 - \frac{A\omega^2}{|(\rho^2 - \omega^2)\Delta y|} \right), \quad (4)$$

где A , ω - амплитуда и частота вынужденных колебаний; ρ - собственная частота колебаний верхней плоскости.

Из этого выражения следует, что если $y = 0$, то $f_1 = 2f$ и эффективный коэффициент сухого трения покоя вложенных конструкций равен удвоенному истинному коэффициенту сухого трения покоя.

Проведенные исследования показали, что зависимость эффективного коэффициента сухого трения покоя от частоты внешнего воздействия для вложенных конструкций имеет резонансный характер. Этот вывод хорошо согласуется с выражением (4). Эффективный коэффициент сухого трения покоя зависит от соотношения величины частоты внешнего периодического воздействия ω к собственной частоте колебаний верхней плоскости ρ . При изменении отношения ω/ρ от 0 до 1 значение перемещения y увеличиваясь, достигает максимальной величины. Максимальной величине y соответствует минимальное значение эффективного коэффициента трения f_1 . Дальнейшее увеличение отношения ω/ρ ведет к уменьшению величины y и, следовательно, к увеличению величины f_1 .

Таким образом, изменением значения частоты внешнего воздействия, можно добиться изменения величины эффективного коэффициента сухого трения покоя, который отражает конечный результат взаимодействия контактирующих поверхностей, совершающих периодические перемещения.

На рис.2 приведены график зависимости силы трения покоя вложенной конструкции от частоты колебаний, полученный расчетным путем (сплошные линии), и график зависимости силы трения покоя вложенной конструкции от частоты колебаний верхней плоскости, полученный в результате проведения экспериментов (пунктирные линии). Расчеты и эксперименты проводились для механической системы со следующими параметрами: $f = 0,6$; $k = 15000$ н/м, $A = 8 \cdot 10^{-3}$ м.

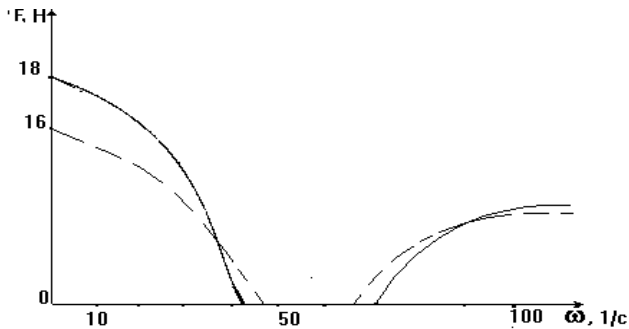


Рис. 2. Зависимость силы трения покоя вложенной конструкции от частоты колебаний

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующий вывод. Вложенным конструкциям присуща своеобразная зависимость силы сухого трения покоя от частоты вынужденных колебаний, заключающаяся в том, что при $\omega \rightarrow \infty$ сила трения покоя между элементами стремится к конечной величине (отличной от нуля), в отличие от классической расчетной схемы, когда тело контактирует с вибрирующей плоскостью одной поверхностью (для этого случая при $\omega \rightarrow \infty$ $F \rightarrow 0$).

Рассмотренная упрощенная расчетная схема вложенной конструкции соответствует реальным конструкциям. Полученные результаты объясняют поведение вложенных конструкций и позволяют обеспечить повышение их надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Писаренко Г.С., Яковлев А.А., Матвеев В.В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. – К.: Наук. думка, 1971. – 376 с.
2. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964. – 410 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2000
