

Управление поворотной платформой, несущей диссипативные осцилляторы

И.М. Ананьевский^{1,2}, Т.А. Ишханян^{1,2,3}

¹Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН

²Московский физико-технический институт (государственный институт)

³Институт физических исследований НАН РА

Исследуется задача управления прецизионной поворотной платформой, устанавливаемой на орбитальном космическом аппарате (КА) и предназначенной для снижения кажущегося ускорения контейнера с полезной нагрузкой, закрепленного на платформе. Контейнер вращается относительно КА с помощью электродвигателя, в подшипниках которого присутствует сухое трение с неизвестными и непостоянными параметрами, и моделируется твердым телом с прикрепленными к нему несколькими диссипативными гармоническими осцилляторами. Предполагается, что фазовые состояния осцилляторов неизвестны. Построено ограниченное управление в форме обратной связи, обеспечивающее после конечного переходного процесса заданное движение несущего тела контейнера относительно КА.

Рассматриваемая задача может быть переформулирована как задача управления движущейся по горизонтальной прямой тележкой с прикрепленными к ней с помощью пружин n горизонтально колеблющихся материальных точек (осцилляторов). Помимо внешней управляющей силы на тележку действует со стороны опорной прямой сила сухого трения с неизвестными параметрами, а взаимодействие между тележкой и осцилляторами описывается упругими силами с вязким трением. Фазовые состояния осцилляторов считаются неизвестными. Требуется остановить тележку в начале координат за конечное время и удерживать ее там.

Уравнения движения системы имеют вид

$$M \ddot{x}(t) = U(x, \dot{x}) - \mu(t, x, \dot{x}) + \sum_{i=1}^3 c_i y_i(t) + \sum_{i=1}^3 \gamma_i \dot{y}_i(t), \quad (1)$$

$$M \ddot{y}_i(t) = -U(x, \dot{x}) - \sum_{k=1}^3 c_k y_k(t) - \sum_{k=1}^3 \gamma_k \dot{y}_k(t) - \frac{M}{m_i} (c_i y_i(t) + \gamma_i \dot{y}_i(t)), \quad (2)$$

где переменная $x(t)$ описывает текущее положение тележки на прямой; $U(x, \dot{x})$ - приложенная к тележке горизонтально направленная управляющая сила; M - масса тележки, $\mu(t, x, \dot{x})$ - сухое трение, действующее между тележкой и опорной прямой; $y_i(t)$ - смещение материальной точки массой m_i i -го осциллятора; c_i - жесткость пружины, γ_i - коэффициент вязкого трения i -го осциллятора, $i = 1, 2, \dots, n$.

Для решения задачи использован следующий закон управления, предложенный в [1] для управления движением твердого тела, т. е. тележкой без осцилляторов:

$$U(x, \dot{x}) = -\frac{6}{T^2(x, \dot{x})} x - \frac{3}{T(x, \dot{x})} \dot{x}, \quad (3)$$

где функция $T(x, \dot{x})$ задается неявно как решение полиномиального уравнения 4-го порядка

$$dT^4 - 6\dot{x}^2 T^2 - 24x\dot{x}T - 36x^2 = 0. \quad (4)$$

Выбор константы d определяет максимальное значение управляющей функции.

Приведенные ниже графики для случая трех осцилляторов показывают, что через конечный промежуток времени тележка останавливается в начале координат (рис. 1), после чего колебания осцилляторов затухают благодаря диссипации (рис. 2 и рис. 3).

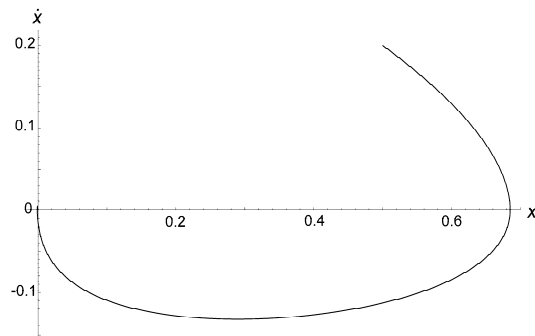


Рис. 1. Фазовая траектория тележки.

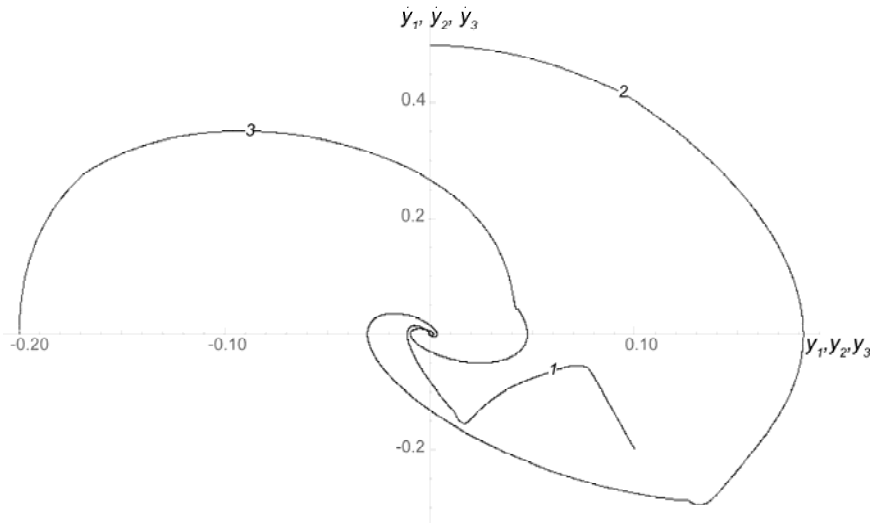


Рис. 2. Фазовые траектории осцилляторов.

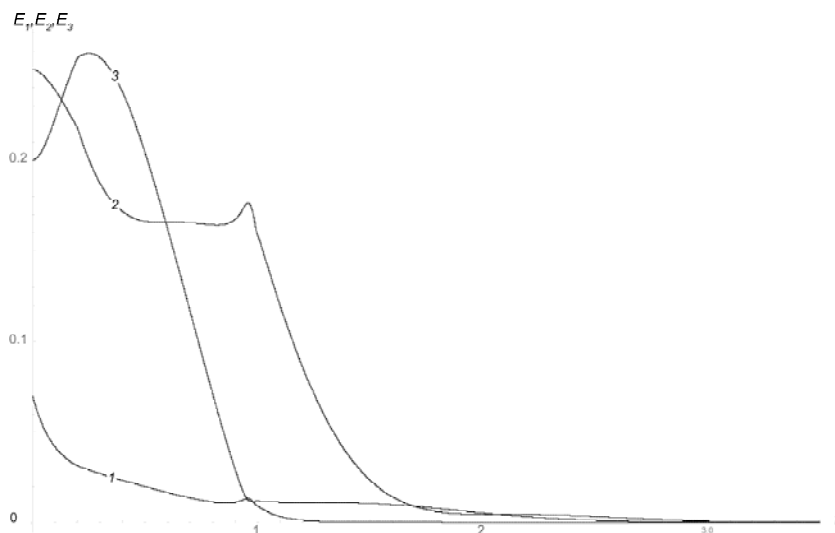


Рис. 3. Графики зависимости от времени энергий осцилляторов.

Литература

1. *Ананьевский И.М., Исиханян Т.А.* Управление поворотной платформой на подвижном основании в присутствии возмущений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2016. № 3. С. 167–175.