УДК 629.7.017.1(075)

Петровичев М.А., Пупков Е.А.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ

При проведении специальных технологических процессов и научных экспериментов на борту космического аппарата (КА) необходимо поддерживать низкий уровень вибраций. Для снижения возмущений, передаваемых на элементы конструкции КА, используются различные системы виброизоляции, которые можно разделить на активные и пассивные. Наилучших результатов можно добиться, применяя первый тип систем, однако при всех своих преимуществах, они обладают рядом недостатков: большая масса и габаритные размеры, сложность и высокая стоимость, наличие внешних источников энергии. Использование же пассивных систем виброзащиты при простоте их конструкции не приводит к обеспечению требуемого уровня вибраций на борту КА.

В настоящее время ведутся работы по созданию так называемых квазинулевых систем виброзащиты, которые будучи составлены из линейных виброизоляционных элементов, обладают преимуществами как пассивных, так и активных систем гашения возмущений. К одной из таких систем относится исследуемая нами тросовая система виброзащиты, в которой в качестве виброизолирующего элемента используется предварительно уложенный по окружности трос.

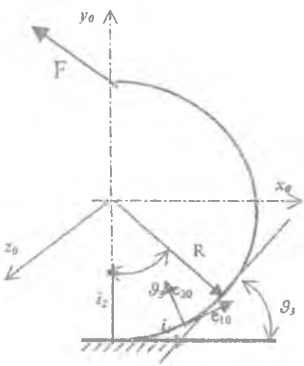

Рис 1

На рис.1 представлена схема исследуемого виброизолирующего элемента. Предполагается, что на свободный конец троса действует сосредоточенная внешняя сила F, которая в общем случае может действовать в любом направлении. Однако при определении силовой характеристики системы целесообразно разбить ее на три составляющие, а затем рассмотреть отдельно каждый из трех случаев.

При описании напряженно-деформированного состояния использовались уравнения равновесия стержня, связывающие внутренние усилия и моменты с положением стержня в деформированном состоянии [1], которые в безразмерной форме имеют следующий вид:

$$
\begin{cases}
\dfrac{dQ}{d\varepsilon} = 0; \\
\dfrac{dM}{d\varepsilon} + e_1 \times Q = 0, \\
M = A(\chi - \chi_0^{(1)}); \\
L_1 \dfrac{d\vartheta}{d\varepsilon} + L_2 \chi_0^{(1)} - A^{-1} M = 0; \\
\dfrac{du}{d\varepsilon} - (L^0)^T (L^T - E) i_1 = 0;
\end{cases} \qquad (1)
$$

где Q—вектор внутренних усилий, равный $Q=Q_1e_1+ Q_2e_2+Q_3e_3$, Q_1— осевая сила, Q_2 и Q_3—перерезывающие силы;

$M=M_1e_1+M_2e_2+M_3e_3$ — вектор внутренних моментов, M_1 — крутящий момент, M_2 и M_3 — изгибающие моменты;

χ и χ_0 – векторы кривизны в нагруженном и естественном состоянии;

L^0, L – матрицы перехода от базиса декартовой системы координат $\{i_j\}$к базису в естественной системе координат в ненагруженном состоянии $\{e_{j0}\}$и от $\{e_{j0}\}$ к базису $\{e_j\}$в деформированном состоянии соответственно;

L_1, L_2 – вспомогательные матрицы, зависящие от углов поворота;

А – жесткостная диагональная матрица.

Для отыскания решения полученной системы дифференциальных уравнений необходимо задать краевые условия. В начале координат имеется жесткая заделка. Таким образом, для перемещений и углов поворота имеем:

$\varepsilon=0$: $u_1=u_2=u_3=0$, $\vartheta_1=\vartheta_2=\vartheta_3=0$.

На свободном конце предполагается отсутствие поворотов, отсюда получаем:

$\varepsilon=1$: $\vartheta_1=\vartheta_2=\vartheta_3=0$.

Остальные три условия зависят от внешней силы F и могут быть записаны следующим образом:

1) Сила F действует по направлению оси x_0:

$\varepsilon=1$: $Q_1=F$, $u_2=u_3=0$;

2) Сила F действует по направлению оси y_0:

$\varepsilon=1$: $Q_2=F$, $u_1=u_3=0$;

3) Сила F действует по направлению оси z_0.

$\varepsilon=1$: $Q_3=F$, $u_1=u_2=0$.

На рис. 2,3,4 представлены зависимости между перемещениями и внешними силами в безразмерных величинах, а на рис. 5 - изменение формы троса под действием внешней силы, направленной вдоль оси x_0.

При переходе к размерным величинам учитываются жесткостные и геометрические характеристики тросов.

Полученные в результате экспериментального исследования зависимости перемещения свободного конца троса от внешней силы в направлении оси x_0 свидетельствуют о правомерности использования принятых допущений.

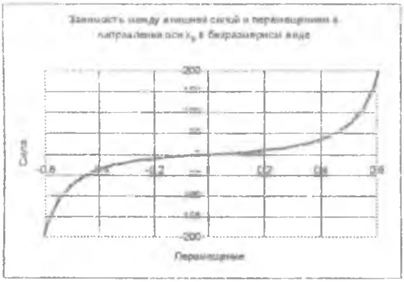

Рис.2

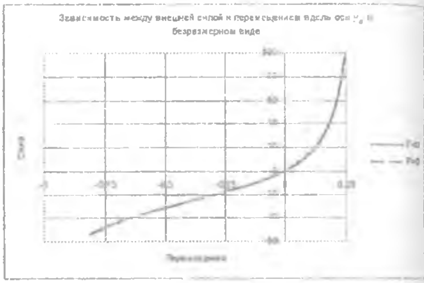

Рис.3

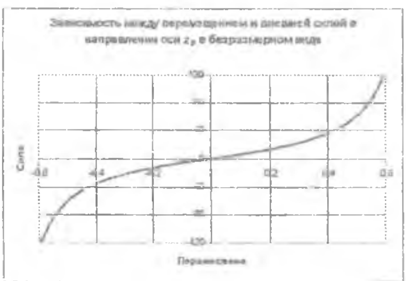

Рис.4

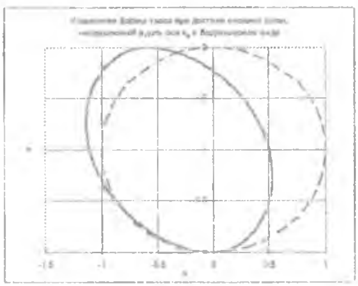

Рис.5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Светлицкий В.А., Механика стержней. В 2-х ч. – М: Высш. шк., 1987.