вых элементов. Таким образом, использование прецессионных уравнений в задаче оптимального управления может привести к недопустимой погрешности.

Список литературы

1. Соболев В.А.Горелова Е.Я. Оптимальное оценивание в гироскопических системах //ТВиП. - 1992. - Т.37, N4. - С.804-806.

2. Соболев В.А. Сингулярные возмущения в линейно-квадратичной задаче оптимального управления //АиТ. - 1991. - N5. - С.53-64.

3. Меркин Д.Р. Гироскопические системы. - М.:Наука,1974. - 344 с.

4. Kokotovic P.V. Applications of singular perturbation techniques to control problems //SIAM Review. - 1984. - V.26, N4. - P.501-550.

УДК 629.78.021.7

О.И.Горелова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПРУГОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Синтез динамических схем упругих КА отвечает переходу от исходных физических моделей к соответствующим математическим моделям движения /1,2/. Неотъемлемым этапом такого перехода является анализ динамических свойств упругого КА. Существующие требования к нему указывают на необходимость разработки эффективных процедур решения задачи математического моделирования динамических свойствупругих КА. Поэтому цель настоящей статьи - дать общую постановку этой задачи и указать основные варианты ее решения.

I. После приведения к нормальной форме основной математической модели движения упругого КА /3/ получим:

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + B\bar{v} , \qquad (1)$$

где $\bar{x}$ - вектор состояния, $\bar{v}$ - вектор входных воздействий, A - матрица динамики, а B - матрица коэффициентов возбудимости упругого КА.

Здесь определенные элементы матриц **A** и **B** являются функциями вектора параметрических характеристик конструкции – $\bar{p}$ для принятой конструктивно-компоновочной схемы и механической модели КА. Традиционно анализ динамических свойствупругого КА заключался в параметрическом анализе его динамической схемы /1,2/, то есть в исследовании, в общем случае, свойств и структуры отображения

$$\pi : P \to \{ A,B \} , \tag{2}$$

где P – допустимое множество значений $\bar{p} \in P$. В /3/ было показано, что содержание исследования отображения π (2) может быть конструктивно расширено.

2. Для исследования динамических свойств упругого КА, как качества его переходных процессов, введем /4/ множество допустимых входов $V(\cdot) \subset V^{(T)}$, где $T=[0,\infty)$ – заданный временной интервал. Очевидно, $x(\cdot) \in X^{(T)}$ – переходные процессы, а их допустимое множество $X(\ ) \subset \subset X^{(T)}$, где X – пространство состояний для динамической системы (I). Поскольку и в динамике упругих КА, и в общей теории систем представляет интерес изучение не столько множества $X(\ )$, сколько множества всех реакций систем, то следует также ввестив рассмотрение отображение

$$\eta : T \times X \to Y , \tag{3}$$

где $\bar{y}(\cdot) \in Y(\cdot)$ – выходы динамической системы (I), а $Y(\cdot) \subset Y^{(T)}$ – их допустимое множество. Кроме того, обозначая $T_0 = (T \times T)^+ = \{ (t_f, t_0) : t_f \geq t_0, t_0 = 0 \}$, введем для (I) переходное отображение

$$\sigma : T_0 \times X_0 \times V(\ ) \to X , \tag{4}$$

где X_0– допустимое множество начальных условий: $\bar{x}_0 = \bar{x}(0) \in X_0 \subset X$. Далее потребуется еще одно отображение

$$\alpha : Y(\cdot) \to Z , \tag{5}$$

где Z - допустимое множество значений некоторого векторного функционала качества переходных процессов.

Таким образом, общая задача математического моделирования динамических свойств упругого КА, представленного системой (I) и отображением η, для заданных функционалов качества $\bar{z}(\cdot) \in Z(\cdot)$ заключается в моделировании следующей композиции отображений (2)-(5):

$$\pi \times \sigma \times \eta \times \alpha \qquad (6)$$

3. В /3/, по существу, показано, что обобщенный анализ динамических свойств упругого КА представляет собой моделирование соответствующего сужения отображения (6) с использованием так называемых алгебраических моделей упругого КА, то есть математических моделей его динамических свойств. Очевидно, практическая реализация (6) требует: замены T на $\tilde{T}=[0,t_K)$, где $t_K < \infty$; X_0 на $\tilde{X}_0=\{x_0^{(i)}, i=1,2,...,N\}$, где $N < \infty$, а $\tilde{X}_0 \subset X_0$ – конечноемножество; $V(\cdot)$ на $\tilde{V}(\cdot)$ – конечное множество допустимых входов и, в общем случае, Z на $\tilde{Z}$ – допустимое множество оценок качества переходных процессов и реакций системы (I). В зависимости от выбора способа сужения отображения (6) можно выделить два основных варианта задачи математического моделирования динамических свойств упругого КА, а именно: задача моделирования в узком смысле, когда в (4) $V(\cdot)=v(\cdot)=0$ и $\tilde{X}_0=\{\ \xi : \|\xi\| = \max \|x_0\| \ / \ x_0 \in X_0\}$, и задача моделирования в широком смысле, когда в (4) выбирается специально сконструированное множество $\tilde{V}(\cdot)$. Например, $v(\cdot) \in V(\cdot)$ – векторный белый шум, а $\tilde{X}_0=x_0=0$, либо $\tilde{V}(\cdot)$ – множество стабилизирующих входов, а $\tilde{X}_0=\{\ \xi : \|\xi\| \geq C\ \}$, где C – заданная константа.

Список литературы

I. Суханов В.М., Рутковский В.Ю. Уравнения движения и анализ динамических конструкций деформируемых космических аппаратов с разветвленной структурой //Препринт ин-та проблем управления. – М., 1986.

2. Докучаев Л.В. Нелинейная динамика летательных аппаратов с деформируемыми элементами. – М.: Машиностроение, 1987.

3. Бочкарев А.Ф.и др. Проектный анализ динамики упругого космического аппарата //Труды XXIY Чтений К.Э.Циолковского. Секция "Проблемы ракетной и космической техники". М., 1990. С. 91-96.

4. Мороз А.И. Курс теории систем. – М.:Высшая школа, 1987.