

А.К.Мартынов

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАСИВНЫХ ДЕМПФЕРОВ
УПРУГИХ КОЛЕБАНИИ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Одной из задач управления движением протяженных конструкций в космосе является подавление упругих колебаний, возникающих как в результате работы бортовых систем, так и под влиянием внешних воздействий.

Для подавления упругих колебаний конструкции широкое применение нашли пассивные демпфирующие устройства (ПДУ), не требующие для своей работы дополнительных затрат энергии, обладающие небольшой массой, достаточным ресурсом, относительно простые в производстве и имеющие низкую стоимость.

Однако эффективность ПДУ существенно зависит от правильного выбора их параметров, рационального размещения на упругой конструкции и оптимального их числа $1/1$.

В настоящем докладе рассматривается алгоритм определения параметров пассивных демпферов вязкого трения для упругой конструкции КА типа панели солнечных батарей (ПСБ). В основе алгоритма лежит метод модального формирования, использующий идею размещения полюсов упругой управляемой системы. Заданная конструкция в пределах рассматриваемых малых упругих деформаций представляется в виде линейной динамической системы. Метод оперирует с конструкцией, схематизированной произвольным числом конечных элементов (в виде решетки).

Для построения математической модели упругих колебаний необходимо знание собственных форм и частот колебаний, которые можно получить методом конечных элементов (МКЭ). Анализ результатов расчетов по МКЭ позволяет выявить преобладающий тип колебаний (из плоскости, в плоскости или крутильные колебания) и оценить количество тонов, которое необходимо учитывать в дальнейших расчетах. Исходная система дифференциальных уравнений имеет порядок N , равный числу учитываемых тонов колебаний заданного типа. Из физических соображений задаются логарифмические декременты колебаний по всем учитываемым тонам.

В дальнейшем предполагается, что демпфирующие воздействия прикладываются в узлах аппроксимирующей решетки, для которых вычислены

значения форм (и производных форм) колебаний. В качестве исходных данных для расчетов задаются динамические характеристики задемпфированной системы: длительность переходного процесса - $\tau_{зад}$, величина перерегулирования - $\sigma_{зад}$. По этим данным определяются границы так называемой области гарантированного качества (ОГК) на комплексной плоскости, внутри которой должны располагаться корни задемпфированной системы.

Предлагаемый алгоритм представляет собой итерационную процедуру выбора параметров ПДУ (значений приведенных коэффициентов демпфирования и мест их установки на упругой конструкции), обеспечивающих получение требуемых динамических характеристик упругой конструкции.

Матричная модель упругих колебаний конструкции космического аппарата может быть представлена в виде

$$\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t), \quad (1)$$

Здесь $(n \times n)$ -матрица A определяет собственную динамику упругой конструкции, а $(n \times m)$ -матрица B - пространственную базу управления. Выражение (1) может быть представлено также в следующем виде

$$\dot{X}(t) = AX(t) + \sum_{j=1}^m A_{dj} X(t), \quad (2)$$

где матрица A_{dj} обусловлена демпфирующим воздействием j -го ПДУ.

Определив ранг матрицы управляемости Q_y , можно установить минимальное число демпфирующих воздействий, необходимых для обеспечения управляемости системы [2]. Для определения элементов матрицы Q_y строится так называемая поверхность управляемости, для чего в каждом узле решетки вычисляются значения $y = \sum_{i=1}^n (r_i^*)^2$. Поверхность управляемости позволяет произвести ранжировку узлов решетки, пригодных для установки демпферов.

Таким образом алгоритм определения параметров ПДУ содержит два этапа: первый этап - подготовка исходных данных и второй этап - собственно расчет параметров демпферов. Блок-схема алгоритма представлена на рис.

На первом этапе задают места размещения точек приложения демпфирующих воздействий, используя ранжированный ряд узлов, и задают значения корней задемпфированной системы, располагая их внутри ОГК. Эти данные необходимы для вычисления коэффициентов матричного уравнения, используемого для расчета коэффициентов эффективности устанавливаемых демпферов.

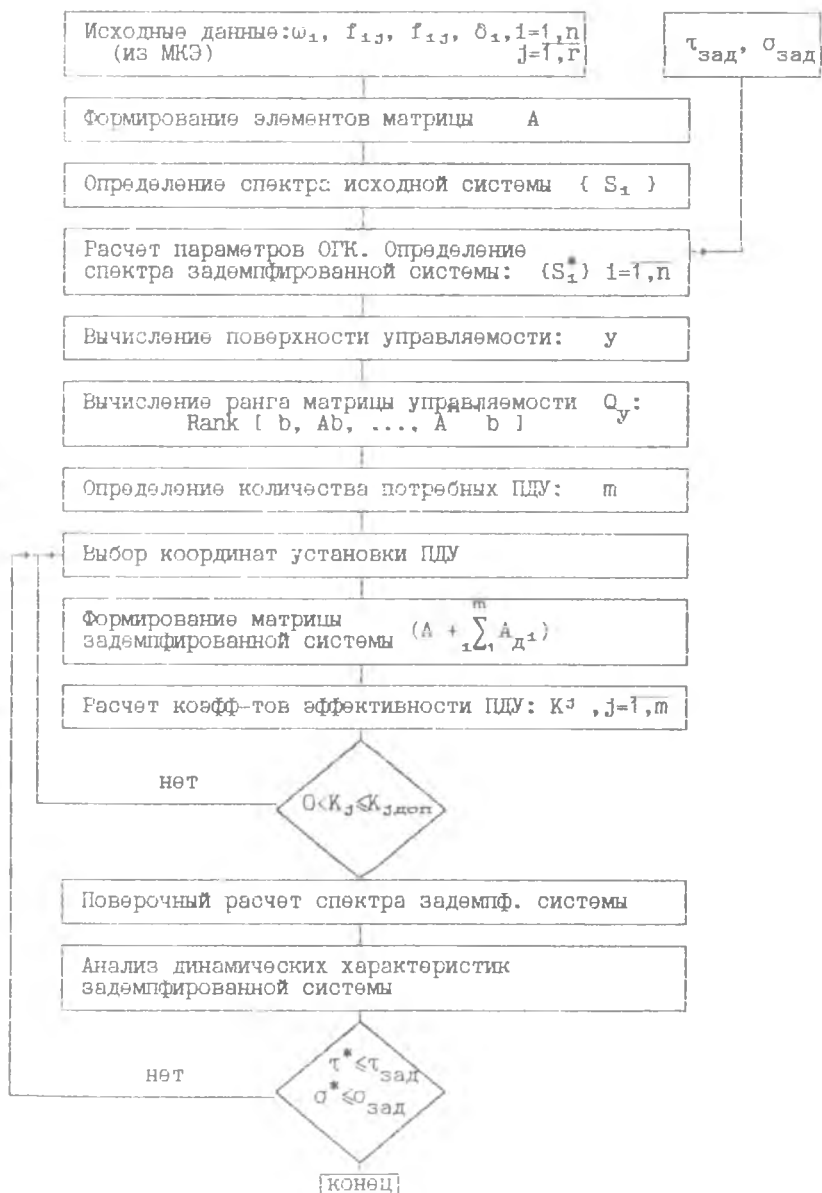


Рис. 1.

Расчет коэффициентов эффективности демпферов производится методом Гаусса. Коэффициенты эффективности ПДУ не могут иметь отрицательные значения, а также не должны превышать некоторый допустимый предел. Этот предел устанавливается из конструктивных соображений. Результаты расчетов параметров ПДУ отбраковываются по названным критериям. Отбранные варианты расчетов параметров ПДУ используются для проведения поверочных расчетов параметров задемпфированной системы ($\tau_{\text{зад}}^*, \sigma^*$). При значительном отклонении расчетных параметров от заданных значений переходят к следующему варианту размещения точек приложения демпфирующих воздействий и все расчеты повторяют снова.

В качестве иллюстрации работы алгоритма представим результаты численного примера для ПСБ, аппроксимированной решеткой, содержащей 15 узлов. Необходимо задемпфировать изгибные колебания из плоскости ПСБ. Из конструктивных соображений устанавливают два ПДУ на боковых образующих ПСБ. С помощью МКЭ были определены частоты, формы и производные форм колебаний ПСБ. Математическая модель содержит 3 тона колебаний: $\omega_1 = 1,18 \text{ с}^{-1}$; $\omega_2 = 2,57 \text{ с}^{-1}$; $\omega_3 = 6,47 \text{ с}^{-1}$. Логарифмический декремент колебаний по всем частотам $\delta = 0,0628$. У исходной системы длительность переходного процесса как реакция на единичное ступенчатое воздействие составляет $\tau = 406 \text{ с}$. Требуемое качество системы: время переходного процесса $\tau_{\text{зад}} \leq 9 \text{ с}$, величина перерегулирования $\sigma_{\text{зад}} \leq 28\%$.

С помощью предлагаемого алгоритма из 105 возможных вариантов размещения двух ПДУ были отбракованы 24 варианта, которые давали отрицательные значения коэффициентов эффективности ПДУ. Из всех вариантов размещения ПДУ, обеспечивающих заданные динамические характеристики задемпфированной системы, был выбран наилучший вариант: $K_1 = 6,92 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$; $K_2 = 7,74 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$; $\tau_{\text{зад}}^* = 4,65 \text{ с}$; $\sigma^* = 0,1 \%$.

Список литературы

1. Титов Е.А., Мартынов А.К. Модальный подход в задаче пассивного демпфирования упругих колебаний КА //Тр. XXIV Чтений К.Э.Циолковского. Секция "Проблемы ракетной и космической техники". М.: ИИЕТ АН СССР, 1990. - С. 89-95.
2. Кожинская Л.И., Ворновицкий А.Э. Управление качеством систем. - М.: Машиностроение, 1979. - 123 с.