

В.С.Портнов

### ФОРМИРОВАНИЕ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ С УПРУГОПРИСОЕДИНЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦИИ

Проблема качества процесса управления является основной задачей анализа и синтеза систем управления различными объектами, включая и космические аппараты с упругоприсоединенными элементами. Современная теория линейных систем автоматического управления основана на использовании метода пространства состояний. При решении задачи синтеза систем управления Розенброком в 1962 году была предложена задача модального управления, заключающаяся в выборе обратной связи системы таким образом, чтобы замкнутая система управления имела заданный набор собственных чисел характеристического уравнения системы [1].

При анализе соответствия динамических свойств космического аппарата поставленной технической задаче при управлении аппаратом вокруг центра масс необходимо выполнить следующие этапы:

1) получить спектр полюсов анализируемой системы на комплексной плоскости; 2) получить область гарантированного качества (ОГК) из условий конкретной технической задачи; 3) провести анализ взаимного расположения полюсов системы и ОГК.

Передаточная функция космического аппарата с "n" упругоприсоединенными модулями в одной плоскости управления будет иметь вид:

$$\Phi_{ка}(s) = \frac{\varphi_0(s)}{M_0(s)} = \frac{\prod_{i=1}^n (s^2 + b_1^i s + c_1^i)}{J_0 s^2 \left( \prod_{i=1}^n (s^2 + b_1^i s + c_1^i) + \sum_{i=1}^n [(b_1^i s + c_1^i) \prod_{j=1}^{n(i \neq j)} (s^2 + b_1^j s + c_1^j)] \right)}$$

где  $\varphi_0$  - угол ориентации центрального тела в базовой системе координат;

$M_0$  - управляющий момент, приложенный к центральному телу в плоскости управления;

$J_0$  - момент инерции центрального тела относительно рассматри-

ваемой оси вращения:

$b_1^i$  и  $c_1^i$  - коэффициент диссипации и жесткость узла подвеса, приведенные к собственному моменту инерции "i"-го модуля;

$b_1^0$  и  $c_1^0$  - коэффициент диссипации и жесткость узла подвеса, приведенные к моменту инерции центрального тела.

Область расположения полюсов на комплексной плоскости, которая гарантирует необходимое качество переходного процесса, строится из условий конкретной технической задачи и в основе лежат допустимые значения колебательности и времени затухания. В результате построения области гарантированного качества получаем расположение полюсов, к которому нужно стремиться /2/.

При проведении сравнительного анализа взаимного расположения полюсов упругого аппарата и ОГК возможны три случая.

1. Если все полюса аппарата находятся внутри ОГК, то можно сделать вывод о соответствии динамических свойств аппарата поставленной задаче и с завершении анализа.

2. Если все полюса находятся вне ОГК, то аппарат не выполнит поставленную задачу, требуется его доработка.

3. Если часть полюсов лежит внутри ОГК, а часть вне ее, то однозначного ответа о соответствии динамических свойств аппарата требуемым нет; анализ должен быть продолжен, для чего необходимо построить переходную характеристику /3/ и на ее базе амплитудную характеристику  $A(t)$  всей системы (рис.1).

Если  $t_{\text{треб}} > t_{\text{факт}}$ , то аппарат удовлетворяет предъявляемым требованиям; если  $t_{\text{треб}} \leq t_{\text{факт}}$  - аппарат имеет неудовлетворительные динамические качества.

Когда требуется доработка аппарата, необходимо знать: какой канал или каналы требуют изменений, чтобы улучшить динамику аппарата? Если существует несколько регуляторов, каждый из которых позволяет достигнуть желаемого качества системы, то возникает задача о достижении этого качества минимальными усилиями, так называемая задача определения структуры минимальных полей заданного качества, впервые поставленная А.М.Летовым /4/. Ее решение позволяет построить систему управления минимальной сложности и стоимости, минимальной массы и габаритов. В структуру минимальных полей могут войти лишь те каналы упругой системы, отражение которых на комплексной плоскости выражается полюсами вне ОГК. Это обстоятельство существенно облегчает поиск тех упругих модулей, на которых необходимо установить регуляторы. Для

этих каналов строим амплитудную характеристику, чтобы определить долю каждого канала в превышении  $\Delta A_{\Sigma}$  (рис.1). Используем для этого передаточную функцию "к"-го канала:

$$W_k(s) = \frac{M_k(s)}{M_{\Sigma}(s)} = \frac{(b_k s + c_k) \prod_{i=1}^n (s^2 + b_i s + c_i)}{\prod_{i=1}^n (s^2 + b_i s + c_i) + \sum_{i=1}^n [(b_i s + c_i) \prod_{j=1}^n (s^2 + b_j s + c_j)]}$$

где  $M_k$  - упругий момент "к"-го канала.

Выполнив сравнительный анализ полученных величин и превышения  $\Delta A_{\Sigma}$ , получаем структуру минимальных полей требуемого качества, причем, все переменные состояния объекта, входящие в структуру минимальных полей должны быть измерены непосредственно или восстановлены с помощью наблюдающих устройств из информации полученной в удобных для измерения точках упругого аппарата.

Для того, чтобы реализовать требуемый спектр полюсов анализируемого аппарата, необходимо синтезировать вектор управляющих воздействий. Если установить регуляторы на всех конструктивных модулях аппарата, соответствующих переменным состояния из структуры минимальных полей, то тогда каждое управление из вектора управляющих воздействий будет решать локальную задачу подавления упругих колебаний данного модуля, что отражается на комплексной плоскости перемещением соответствующей пары полюсов в заданное положение. Требуемое перемещение обеспечивается величинами коэффициентов при переменных состояния, участвующих в формировании закона управления, которые могут быть оценены в первом приближении (применяя принцип декомпозиции при малых коэффициентах взаимного влияния осцилляторов) с помощью уравнения автономного колебательного звена:

$$a_0 \ddot{q} + a_1 \dot{q} + a_2 q = 0,$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  - постоянные коэффициенты характеризующие инерционные, диссипативные и жесткостные параметры осциллятора;  $q(t)$  - параметр состояния данного осциллятора.

Тогда при произвольном перемещении корней на комплексной плоскости из положения  $S_1(f_1, l_1)$  в положение  $S_2(f_2, l_2)$  (рис.2) закон управления локального регулятора будет следующим:

$$U = -a_1 \left( \frac{f_1}{T_2} - 1 \right) q + \frac{4a_0^z (1_2 - 1_1) + a_1^z \left( \frac{f_2}{T_1} - 1 \right)}{4a_0} q.$$

Таким образом, перемещая с помощью локальных регуляторов полюса системы, принадлежащие структуре полей заданного качества, добиваемся требуемого переходного процесса при управлении космическим аппаратом с набором осцилляторов.

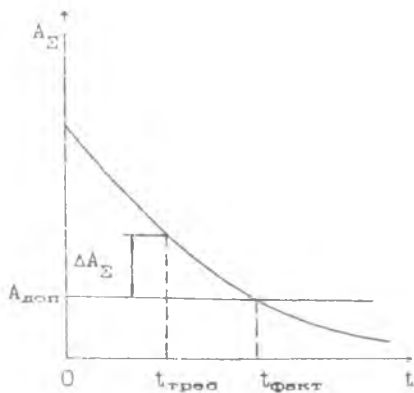


Рис.1

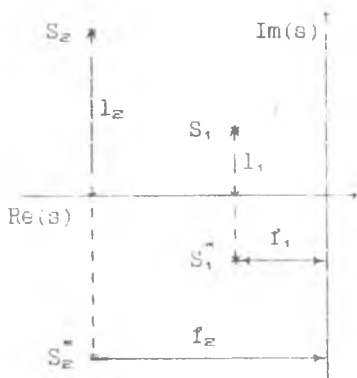


Рис.2

#### Список литературы

1. Кожинская Л.И., Ворновицкий А.Э. Управление качеством систем. - М.: Машиностроение, 1979. - 128 с.
2. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматки и технической кибернетики. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. - 600 с.
3. Блох Э.Ш. Динамика линейных систем автоматического регулирования машин. - М.: Гостехиздат, 1952. - 492 с.
4. Летов А.М. Некоторые нерешенные задачи теории автоматического управления // Дифференциальные уравнения. - 1970. - N 4.