

3.5. Динамика ротора на этапе гашения углового движения

Рассмотрим задачу о маневрировании ротора с целью обхода препятствий и выхода на постоянную орбиту с гашением колебаний. Траектория характерной точки M пересекает плоскость экватора в единственной точке $x_* = \beta$, что имеет принципиальное значение для решения задачи о выполнении условий (3.8). Схема расположения препятствий в экваториальной плоскости позволяет путем задания положения x_* в свободном промежутке обеспечить их обход, перемещая ротор над этой плоскостью. Другая часть задачи – гашение колебаний – может быть решена введением диссипативных сил.

1. Внешние диссипативные силы, влияя на движение центра масс ротора, могут быть использованы для гашения колебаний плоскости ротора по отношению к плоскости экватора, т. е. движения по углу ψ .

2. Внутренние диссипативные силы, в данном случае фрикционные, влияя на взаимные перемещения частей системы, могут быть использованы для гашения радиального движения фрагментов ротора, т. е. движения по параметру x .

3. Введение фрикционных сил, как будет показано дальше, позволяет изменить значение $\beta_{кр}$ в сторону увеличения, когда диапазон до критических режимов движения ротора расширяется за пределы $\beta = 2$. Это обстоятельство расширяет возможность выбора орбиты $x_* = \beta$, обеспечивая маневр по обходу любых препятствий.

Процессы гашения колебаний по параметрам ψ и x могут выполняться независимо друг от друга, поочередно или одновременно. В дальнейшем принимаем последовательность трех этапов выхода ротора на орбиту, отличающихся режимами движения. При этом положение ротора определяется параметрами x и ψ , из которых x , как и раньше, является независимым аргументом. Ввиду малости угла ψ радиальную координату $x = r/R$ считаем совпадающей с абсциссой $x = \frac{r}{R} \cos \psi \approx r/R$ характерной точки M .

На первом этапе от начального положения M_0 с координатой x_0 (рисунк 26) до некоторого положения M_1 с координатой x_1 осуществляется свободное, без диссипативных сил движение ротора, т. е. режим I. Здесь ротор набирает радиальную скорость, двигаясь по усеченному конусу с прямолинейной образующей M_0M_1 . Характерная точка M движется по прямолинейному участку M_0M_1 ; положение x_1 определим ниже.

На втором этапе – от положения M_1 до положения M_2 с координатой x_2 – реализуется режим II движения ротора, когда участвуют внешние

диссипативные силы. Положение M_2 определяется на оси X на том же свободном от препятствий участке, что и точка M_* орбиты, при этом $x_2 < x_*$. На рисунке 26 точки M_2 и M_* выбраны на участке между орбитами C_1 и C_2 двух спутников. Координата точки M_1 выбирается в промежутке $[x_0, x_2]$. Траекторией характерной точки M является кривая M_1M_2 отмеченная штрихами.

Целью движения на этапе II является гашение движения по углу ψ с выполнением в конце этапа условий

$$\psi(x_2) = \dot{\psi}(x_2) = \ddot{\psi}(x_2) = 0.$$

В плоскости экватора от положения M_2 до конечного положения осуществляется режим III движения ротора с участием фрикционных сил. Цель этого движения – гашение радиального движения по координате x с выполнением условий в конце этапа

$$\dot{x}(x_*) = \ddot{x}(x_*) = 0.$$

Радиальное движение на этапе I описывается соотношениями (3.15); угловое движение по ψ – соотношениями (3.12), (3.13) и (3.21). В конце первого и начале второго этапов величины ψ и ψ' принимают в точке x_1 значения

$$\psi(x_1) = \frac{\psi_0}{\beta - 1} \left(\frac{\beta}{x_1} - 1 \right); \quad \psi'(x_1) = -\frac{\psi_0}{\beta - 1} \frac{\beta}{x_1^2}. \quad (3.26)$$

Рассмотрим динамику ротора на втором этапе $[x_1, x_2]$. Дифференциальные уравнения движения в этом случае имеют вид вторых соотношений (3.9) и (3.10):

$$\ddot{x} = \frac{q}{x^2} \left(\frac{\beta}{x_1} - 1 \right); \quad \ddot{\psi} + 2\dot{\psi} \frac{\dot{x}}{x} + \psi \frac{q\beta}{x^4} = \frac{p(x)}{x}.$$

Первое уравнение имеет интеграл

$$\dot{x}^2 = \dot{x}_1^2 + \frac{q}{xx_1} (x - x_1) \left(\beta \frac{x + x_1}{xx_1} - 2 \right), \quad (3.27)$$

где $\dot{x}_1$ – радиальная скорость ротора в положении x_1 , определяемая согласно (3.15).