

2. Если $\ddot{x}_1 < 0$, то дальнейшее движение ротора без замедления требует выполнения условия

$$\ddot{x}_{10} = F(x_1, 0) - K_1(x_1 - x_0) > 0.$$

В этом случае в положении $x = x_1$ и скорость $\dot{x}$ принимает минимальное значение, что соответствует угловой точке на графике $\dot{x}(t)$, показанном на рисунке 21.

В дальнейшем полагаем, что значения $\ddot{x}_{10}$ и $\dot{x}_{10} = \dot{x}_1$, начальные для участка упругого растяжения $x > x_1$, удовлетворяют условиям $\ddot{x}_{10} > 0$, $\dot{x}_{10} > 0$.

Интегрируя аналогично предыдущему уравнение (1.17) в пределах x_1 и x , $\dot{x}_{10}$ и $\dot{x}$, получим выражение, определяющее скорость $\dot{x}$ на первом этапе упругого растяжения ротора в космосе:

$$\dot{x}^2 = \dot{x}_1^2 + (x - x_1) \left[\frac{q}{xx_1} \left(\beta \frac{x + x_1}{xx_1} - 2 \right) - K_1(x + x_1 - 2) \right], \quad x \geq x_1. \quad (1.18)$$

Уравнения (1.17) и (1.18) определяют ускорение и скорость ротора $\ddot{x}$ и $\dot{x}$ в зависимости от его положения x , что позволяет решить задачу об управлении движением ротора при выводе его на орбиту. Действительно, изменяя параметры β и K_1 и связанные с ними параметры V_0 , m_p , C_p , можно влиять на радиальное движение ротора. Анализ условий выхода ротора на заданную орбиту и влияние на этот процесс параметра β будут приведены ниже.

Управление с помощью упругих сил, что соответствует выбору коэффициента K_1 или жесткости ротора C_p , не является эффективным. Действительно, в точке орбиты $x = x_k$ радиальное ускорение и скорость должны одновременно обращаться в нуль:

$$\ddot{x}_k = \dot{x}_k = 0. \quad (1.19)$$

Эти условия в рассматриваемом случае невозможно выполнить одновременно, что следует из уравнений (1.17) и (1.18). Действительно, ускорение $\ddot{x}(x)$ изменяется монотонно, поэтому оно может обратиться в нуль на отрезке $[x_1, x_k]$ только один раз; пусть это произойдет в точке x' , $x_1 < x' < x_k$. Отрицательное ускорение на второй части отрезка $[x', x_k]$ может обратить в нуль скорость $\dot{x}_k$, но при этом само будет отличным от нуля, и в дальнейшем ротор будет двигаться в обратном направлении. Когда будет пройдено положение x' , ускорение станет положительным, а скорость будет убывать до нуля, после чего цикл движения повторится. Возникает колебательное движение ротора относительно положения x_k .

Если же точка x' , где $\ddot{x} = 0$, совпадает с точкой x_k , то скорость $\dot{x}_k$ достигнет здесь максимального значения, и ротор по инерции пройдет это положение. Дальнейшее его движение будет замедленным до остановки в некотором положении x_{2k} , при этом ускорение $\ddot{x}_{2k} < 0$, следовательно, ротор двинется в обратном направлении.

Итак, совместное действие центробежной силы, силы тяготения и упругой силы обуславливает колебательное движение ротора. Управлению движением ротора с помощью упругих сил препятствует и то обстоятельство, что деформации ротора допустимы только в сравнительно небольших пределах, что связано с реальными значениями упругих, прочностных и других характеристик ротора, а амплитуды колебаний достигают больших, сравнимых с радиусом Земли, значений.

Колебательный характер радиального движения ротора приводит к необходимости использования диссипативных сил, в частности, сил сухого трения. Автором проекта ОТС для реализации варианта управления движением ротора с целью устранения колебаний предложено следующее.

1. Разделение ротора на фрагменты с телескопическим соединением, что предотвращает появление больших деформаций.

Число разделений зависит от радиуса заданной орбиты, размеров фрагментов и их общих частей, а также других технических особенностей конструкции ротора.

2. Подтормаживание силами сухого трения относительного перемещения фрагментов после каждого разделения. Этапы движения ротора, где действуют силы трения, назовем этапами фрикционного расширения. Значения сил трения выбираются в основном из условия гашения скорости радиального движения ротора и, соответственно, энергии такого движения.

3. Чередование этапов фрикционного расширения с этапами упругого растяжения ротора в допустимых пределах его деформаций.

Как показано ниже, последний способ диссипации энергии позволяет более эффективно управлять радиальным движением ротора, придавая ему неколебательный характер. При этом выполняются условия (1.19) выхода на постоянную орбиту, а также другие условия, необходимые для движения на орбите.

1.6. Динамика колебательного движения ротора

Характерные особенности динамики ротора определяются при исследовании его колебательного движения в случае свободного расширения, когда фрагменты раздвигаются или сдвигаются в телескопических соединениях