

4.4. Задача о разгоне ротора ОТС

Исследуем движение ротора на этапе разгона при самых общих предположениях о его свойствах, тяговых усилиях двигателя и т. д. В качестве физической модели ротора принимаем кольцеобразный стержень, расположенный коаксиально внутри вакуумной оболочки и равномерно нагруженный продольными тяговыми усилиями от секции линейного электродвигателя. Масса ротора M_p , его радиус R – экваториальный радиус Земли, момент инерции относительно оси вращения ротора $J_z = M_p R^2$. Главный момент тяговых усилий относительно оси Z :

$$M_z = \Sigma q R = Q R,$$

где q – тяговое усилие от одной секции двигателя; $Q = \Sigma q$ – суммарное тяговое усилие.

Движение ротора рассматривается по отношению к двум системам отсчета с общим началом в центре масс Земли O . Действием окружающих небесных тел – Солнца, Луны и т. д. – пренебрегаем. Перемещение точки O не влияет на процесс разгона ротора, поэтому точку O полагаем неподвижной.

В системе $OXYZ$ оси неподвижны; ось Z направлена вдоль оси вращения Земли и ротора, оси X , Y расположены в плоскости экватора. Движение ротора по отношению к этой системе абсолютное.

В системе $OX_1Y_1Z_1$ оси X_1 , Y_1 расположены также в экваториальной плоскости и вращаются вокруг совпадающих осей Z и Z_1 с угловой скоростью ω_z Земли. Движение ротора вместе с этой системой переносное, а по отношению к ней – относительное.

В период разгона рассмотрим движение ротора относительно эстакады, неподвижной по отношению системы $OX_1Y_1Z_1$, т. е. относительную часть движения. В момент окончания разгона, начала радиального движения ротора и в последующем его движении рассмотрим также абсолютное движение. Между скоростями точек ротора существует соотношение

$$V_a = V_e + V_r,$$

где V_a – абсолютная скорость; $V_e = \omega_z R = 0,46$ км/с – переносная скорость и V_r – относительная скорость точек ротора. В момент окончания разгона $V_a = V_0$, где V_0 – начальная абсолютная скорость на этапе подъема ротора к орбите.

Полезную мощность W электродвигателя полагаем постоянной на этапе разгона ротора; потребляемая мощность $W' = W/K_1$, где K_1 – КПД двигателя.

В общем случае постоянна только передаваемая мощность W' , а K_1 и W зависят от скорости V_r относительного движения ротора. При этом функциональная зависимость определяется реализованной схемой двигателя, левитационной системы и т. д. При исследовании динамики ротора в период разгона принимаем усредненные значения K_1 и W . Усредненное значение суммарного тягового усилия связано со скоростью ротора соотношением $Q = W/V_r$. В начальный момент, когда $V_r = 0$, и на некотором малом промежутке $[0, t']$ эта формула неприменима и заменяется другой, не имеющей особенностей. Время пуска исключается из рассмотрения ввиду его малости и, соответственно, малости изменения скорости и перемещения ротора.

Запишем дифференциальное уравнение вращательного движения ротора:

$$J_z \frac{d\omega_r}{dt} = M_z,$$

где $\omega_r = V_r/R$ – относительная угловая скорость ротора. После упрощений получим:

$$M_p \frac{dV_r}{dt} = Q = \frac{W}{V_r}. \quad (4.1)$$

В результате интегрирования находим зависимость относительной скорости ротора от времени движения:

$$V_r = \left(\frac{2Wt}{M_p} \right)^{1/2}. \quad (4.2)$$

Пусть время разгона $t = 5$ суток, конечная абсолютная скорость $V_a = 10$ км/с, следовательно, $V_r = V_a - V_e = 9,54$ км/с, масса ротора $M_p = 2 \times 10^9$ кг при погонной массе 50 кг/м. Из (4.2) найдем необходимую полезную мощность $W = M_p V_r^2 / 2t = 211$ млн кВт.

Для КПД принимаем $K_1 = 0,5$, тогда полная мощность $W' = 422$ млн кВт, превосходя мощность ракеты-носителя «Энергия» всего в 3,5 раза. Но удельная мощность на тонну поднимаемого полезного груза составляет 211 кВт/т, тогда как для «Энергии» такой же показатель равен $1,2 \times 10^6$ кВт/т, т. е. примерно в 6000 раз больше. И ни одна из используемых или разрабатываемых в настоящее время систем подъема грузов в космос не имеет такого низкого значения удельной мощности, как система ОТС.