где $f_i = \dfrac{F_{i\text{тр}} l}{m_\text{р} R^2}$, $F_{i\text{тр}}$ – суммарная сила трения, действующая на фрагменты на i-м участке фрикционного расширения. Величины f_i определяются из условий (1.35):

$$f_i = \frac{\dot{x}_i^2}{2}\frac{1-\lambda_i^2}{x_{i+1}-x_i} + \frac{q}{2x_{i+1}x_i}\left(\beta\frac{x_{i+1}+x_i}{x_{i+1}x_i} - 2\right). \qquad (1.37)$$

Другие динамические характеристики ротора – время движения $f(x)$, угол поворота $\varphi(x)$ и т. д. – определяются аналогично соотношениями (1.11)–(1.16), где $u(x) = \dot{x}^2$ определяется согласно (1.36), (1.37) на каждом участке $i = 1, 3, \ldots, 7$.

1.9. Движение ротора на заключительном этапе

Заключительный этап радиального движения ротора перед выходом на орбиту не может происходить в режиме упругого или тем более свободного расширения: в обоих случаях ротор будет совершать колебательное движение (см. п. 1.5 и 1.6).

Действительно, при положительной радиальной скорости и положительном ускорении в точке x_8 ротор в общем случае проходит положение x_k с отличной от нуля радиальной скоростью, что приводит к колебаниям. Следовательно, для завершения процесса диссипации энергии и полного гашения радиальной скорости необходимо, чтобы на этом этапе радиальное ускорение было отрицательным, а это возможно в рамках принятой модели движения только в режиме фрикционного расширения. Для более эффективного управления движением ротора и возможности удовлетворения некоторым дополнительным условиям будем считать суммарную силу трения $F_{8\text{тр}}$ переменной, зависящей от положения ротора x. Дифференциальное уравнение радиального движения ротора имеет вид:

$$\ddot{x} = F(x, 0) - f_8(x), \quad x \geq x_8. \qquad (1.38)$$

Интегрируя это уравнение, получим:

$$\dot{x}^2 = \dot{x}_8^2 + \frac{q}{xx_8}(x - x_i)\left(\beta\frac{x + x_8}{xx_8} - 2\right) - 2\int_0^x f_8(x)\,dx. \qquad (1.39)$$

Для вывода ротора на орбиту x_k требуется выполнить условие (1.19)

$$\ddot{x}_k = \ddot{x}(x_k) = 0; \quad \dot{x}_k = \dot{x}(x_k) = 0. \qquad (1.40)$$

При выходе на орбиту и при дальнейшем движении по ней должны выполняться еще два условия.

1. Свободное, без сопротивлений, относительное перемещение фрагментов (раздвижение и сдвижение) в их телескопических соединениях. На больших интервалах времени на ротор оказывают влияние возмущающие воздействия Луны и Солнца, вызывая периодические изменения формы и длины отдельных участков ротора. Чтобы противодействовать этим негативным последствиям, следует дать возможность совершаться указанным изменениям без значительных сопротивлений и, следовательно, без диссипации энергии, потери орбитальной скорости и раннего схода с орбиты. Примерно таков механизм, обеспечивающий длительное существование колец Сатурна, Урана и других больших планет.

2. Устранение в момент выхода на орбиту деформаций и напряжений фрагментов ротора.

Оба условия обеспечиваются, если потребовать обращения в нуль в положении x_k и при дальнейшем движении ротора на орбите сил трения:

$$f_8(x_k) = 0. \qquad (1.41)$$

Нарушение этого условия приведет к заклиниванию фрагментов и, как следствие, появлению в них напряжений. При демонтаже ротора, например, для строительных работ, возможно резкое (ударное) их разгружение.

Условие $\ddot{x}_k = 0$ с учетом (1.38) и (1.41) приводит к результату

$$\beta = x_k, \qquad (1.42)$$

который указывает, что постоянная орбита ротора возможна только в том положении x_k, где обращается в нуль равнодействующая центробежной и гравитационной сил. Если эта равнодействующая не равна нулю, то имеется соответствующее радиальное ускорение, возникает и радиальная скорость, и, следовательно, ротор будет совершать радиальное движение.

Равенство (1.42) является необходимым условием выхода ротора на орбиту в положении x_k. Учитывая, что $\beta = V_0^2/gR$, стартовая окружная скорость

$$V_0 = (x_k gR)^{1/2} = (x_k)^{1/2} V_1. \qquad (1.43)$$