Для $x_k = 1{,}5$ получим $V_0 = 9{,}68$ км/с, величина $\mu = m_0/m_р$ при этом должна быть меньше 0,5.

Определим еще орбитальную скорость ротора, используя интеграл (1.6):

$$V_{орб} = r_k \dot{\varphi}_k = \frac{V_0}{x_k} = \frac{V_1}{\left(x_k\right)^{1/2}}. \tag{1.44}$$

Найденное значение $V_{орб}$ может быть проверено с помощью известного для свободного дискретного объекта массы m условия – равенство на круговой орбите радиуса r_k силы притяжения и центробежной силы:

$$mg\frac{R^2}{r_k^2} = m\frac{V_{орб}^2}{r_k},$$

откуда

$$V_{орб} = \left(\frac{gR^2}{r_k}\right)^{1/2} = \left(\frac{gR}{x_k}\right)^{1/2},$$

что совпадает с (1.44). Если $x_k = 1{,}5$, то $V_{орб} = 6{,}45$ км/с.

Рассмотрим второе условие (1.40) и определим зависимость $f_8(x)$ при условии (1.41). Разобьем участок $[x_8, x_k]$ точкой x_9 на две части; пусть на первой части $f_8 = \text{const}$, на второй части $f_8(x)$ убывает от f_8 до нуля по линейному закону:

$$f_8\left(x\right) = \begin{cases} f_8 = \text{const}, & x_8 \le x \le x_9; \\ f_8 = \dfrac{x_k - x}{x_k - x_9}, & x_9 \le x \le x_k. \end{cases} \tag{1.45}$$

В этом случае интеграл в (1.39) принимает значения:

$$J\left(x\right) = \int_{x_8}^{x} f_8\left(x\right)dx =$$

$$= \begin{cases} f_8\left(x - x_8\right), & x_8 \le x \le x_9; \\ f_8\left(x_9 - x_8\right) + f_8\dfrac{x - x_9}{x_k - x_9}\left[x_k - \dfrac{1}{2}\left(x + x_9\right)\right], & x_9 \le x \le x_k. \end{cases}$$

В точке $x = x_k$ получим: $J\left(x_k\right) = \dfrac{1}{2}f_8\left(x_9 + x_k - 2x_8\right)$. Пусть $x_9 = x_8 + 400\Delta x$; для x_k найдем $x_k = x_8 + 485\Delta x$; тогда

$$J\left(x_k\right) = \frac{1}{2}f_8\,885\Delta x.$$

Величину f_8 определим из условия, чтобы в точке x_k радиальная скорость уменьшалась до нуля. Согласно (1.39)

$$\dot{x}_8^2 + \frac{q}{x_k x_8}\left(x_k - x_8\right)\left(\beta\frac{x_k + x_8}{x_k x_8} - 2\right) - 885 f_8 \Delta x = 0. \tag{1.46}$$

Отсюда определяется значение f_8 и зависимость (1.45), удовлетворяющая условиям (1.40) и (1.41) выхода ротора на орбиту x_k.

Таким образом, условия вывода ротора ОТС на орбиту в заданном положении x_k имеют вид (1.42), (1.43). Динамика ротора на завершающем этапе определяется уравнениями (1.38), (1.39) и соотношениями (1.45), (1.46); движение ротора на орбите подчиняется условиям (1.40), (1.41), (1.44).

Критическое значение параметра β может быть увеличено путем подбора значений f_8, удовлетворяющих условию (1.45) при $\beta \ge 2$ и конечных значениях x_k.

1.10. Задача о выводе ротора ОТС на орбиту. Пример

Зададим значения трех групп параметров задачи.

1. Постоянные параметры: радиус R Земли, гравитационное ускорение g на экваторе, начальная плотность ρ_0 атмосферы и др. Для модели стандартной атмосферы приняты $H_а = 6665$ м – пьезометрическая высота усредненной атмосферы с постоянной температурой, $\alpha_п = \dfrac{R}{H_а} = 995{,}736$ – показатель степени экспоненты в формуле Галлея, определяющей убывание плотности с высотой [5, 18].

2. Параметры, определяющие положение орбиты, величину соответствующей стартовой скорости ротора, его механические свойства, аэродинамические характеристики оболочки и др.:

$$x_k = 1{,}5; \quad V_0 = \sqrt{x_k}V_1 = 9{,}68 \times 10^3 \text{ м/с}; \quad m_р = 25 \text{ кг/м};$$