

$$m_0 = 0,2m_p = 5 \text{ кг}; \quad C_1 = ES/L = 42,39 \text{ Н/м},$$

где  $E = 2,16 \times 10^{11} \text{ Н/м}^2$  – модуль упругости стали;  $S = \pi d^2/4$  – площадь сечения ротора;  $d = 0,1 \text{ м}$ ;  $L = 2\pi R = 4 \times 10^7 \text{ м}$ ;  $\lambda = C_x S_0/2 = 0,1365 \text{ м}^2$ , где  $C_x = 0,9$  – коэффициент лобового сопротивления оболочки;  $S_0 = d_0 l$  – площадь сечения элемента оболочки;  $d_0 = 0,3 \text{ м}$  – диаметр оболочки;  $l$  – длина элемента.

3. Параметры, определяющие положение участков упругого и фрикционного расширения ротора, точки разделения на фрагменты (рисунок 14) и др. Задаем также шаг итераций на каждом из участков, коэффициенты убывания радиальной скорости в конце фрикционных участков согласно правилу (1.35). Полагаем коэффициенты  $\lambda_2 = 1$ ;  $\lambda_4 = 0,5$ ;  $\lambda_6 = 0,25$  и т. д.

Задачу решаем без учета ограничений на силы трения типа (1.32).

На графиках представлено изменение характеристик радиального движения ротора в зависимости от его положения и заданных режимов движения на отдельных участках оси  $X$ , вдоль которой отложены значения безразмерного радиуса.

На рисунке 15 показано изменение радиального ускорения  $w = \ddot{x}R$  (м/с<sup>2</sup>).

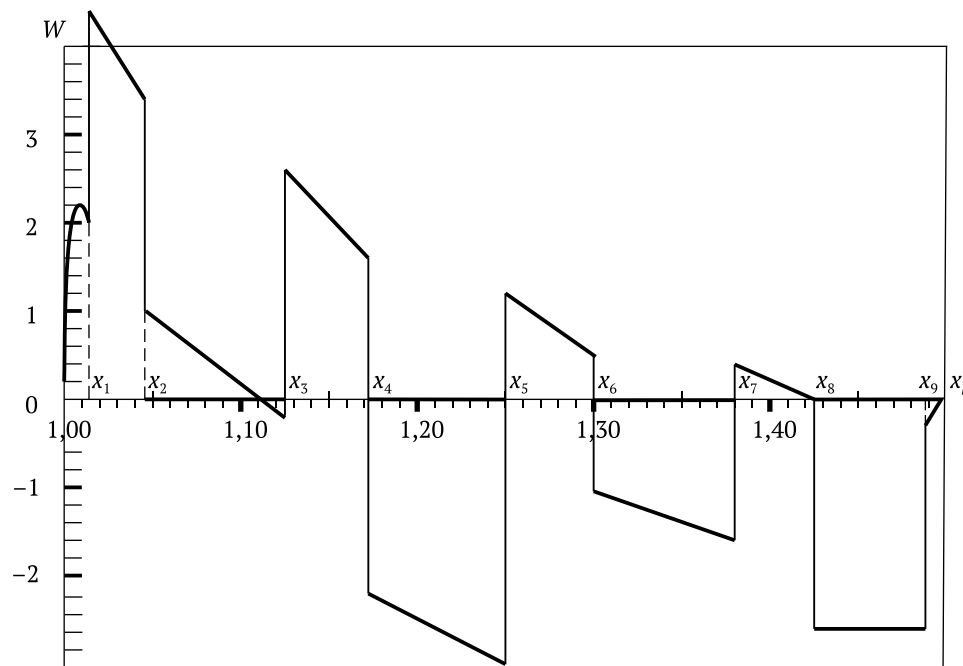


Рисунок 15 – Радиальное ускорение ротора

На участке  $[x_0, x_1]$  движения в атмосфере ускорение является результатом сложного взаимодействия нелинейных сил; наибольшее возмущение вносит аэродинамическая сила сопротивления радиальному движению оболочки. В точке  $x_1$  выхода из атмосферы происходит сброс оболочки и скачкообразное увеличение ускорения. На первом участке упругого расширения  $[x_1, x_2]$  ускорение монотонно уменьшается до точки  $x_2$ , где происходит разделение на фрагменты и начинается участок фрикционного расширения с включением постоянной по величине тормозящей силы трения, что снова приводит к скачкообразному изменению ускорения. На участке  $[x_2, x_3]$  ускорение, впервые меняя знак, становится отрицательным.

Изменение  $w$  на остальных участках происходит аналогично. На заключительном участке  $[x_8, x_k]$  процесс происходит так, как описано в п. 1.9. На участке  $[x_8, x_9]$  в пределах точности чертежа ускорение постоянно вследствие малости влияния на ускорение центробежной и гравитационной сил. На участке  $[x_9, x_k]$  ускорение меняется линейно, обращаясь в нуль в конечной точке  $x_k$ .

Из графика ускорений можно определить силу трения на фрикционных участках. Наибольшее значение достигается в точке  $x_4$ ; согласно соотношениям  $\Delta w_4 = f_4 R = 3,8 \text{ м/с}^2$  и  $f_4 = F_{4\text{тр}} l / m_1 R^2$  получим:  $F_{4\text{тр}} = m_1 R \Delta w_4 / l = 6,08 \times 10^5 \text{ кН}$ .

На других участках фрикционного расширения сила трения уменьшается. Усредненное значение силы трения можно определить из условия равенства ее работы на перемещении, равном сумме приращений длины ротора на фрикционных участках:

$$F_{\text{тр}} \Delta L = M_1 V_{\text{рад}}^2 / 2,$$

где  $\Delta L = 2\pi \times 1985 \times 10^3 \text{ м}$ ;  $V_{\text{рад}}^2 = (x_k - 1)^2 V_1^2 / x_k$ ;  $M_p$  – масса ротора, откуда  $F_{\text{тр}} = 4,19 \times 10^5 \text{ кН}$ .

Если участки упругого расширения заменить фрикционными, т. е. иметь один участок фрикционного расширения  $[x_1, x_k]$ , то среднее значение силы трения уменьшится:  $F_{\text{тр}} = 2,6 \times 10^5 \text{ кН}$ .

На рисунке 16 представлен график изменения радиальной скорости  $V = \dot{x}R$  (м/с). На участках упругого расширения, где ускорение положительно, происходит увеличение скорости; в конце этапа движения в атмосфере скорость почти равна 600 м/с, наибольшее значение достигается в конце второго этапа упругого расширения – 1880 м/с.

На участках фрикционного расширения скорость может уменьшаться по заданной программе. В точках смены режима движения, где ускорение меняется скачком, график скорости имеет угловые точки, в промежутках скорость меняется монотонно.