

$$M_1 := 410 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad M_3 := 240 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

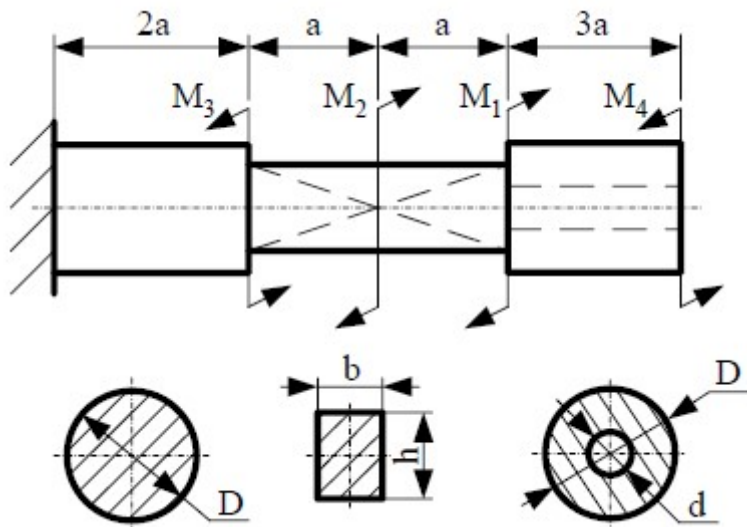
$$M_2 := 260 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad M_4 := 330 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d := 34 \text{ мм} \quad h := d = 34 \text{ мм}$$

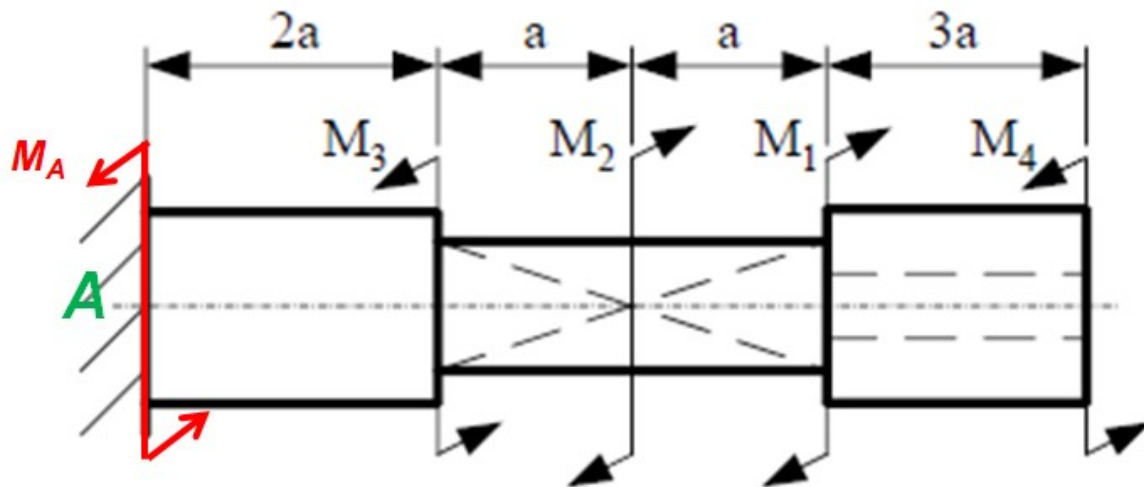
$$D := \frac{d}{0.55} = 61.81 \text{ мм} \quad b := h = 34 \text{ мм}$$

$$G := 8 \cdot 10^4 \text{ МПа} \quad a := 2 \text{ м}$$

Решение:



Находим реакцию опоры:

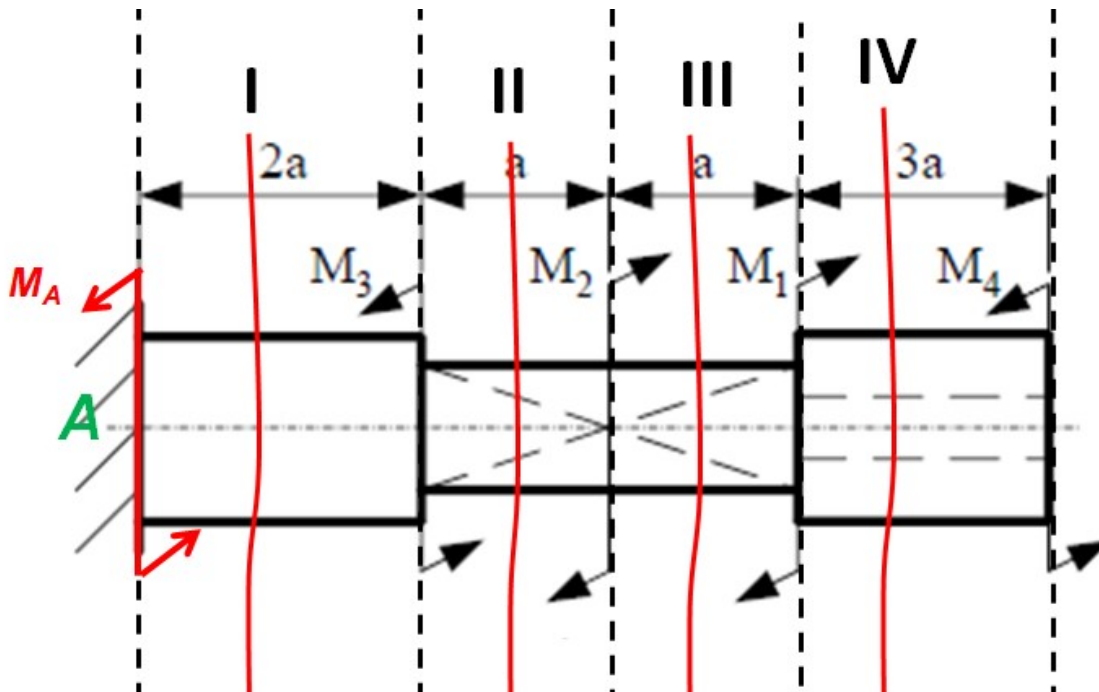


Given

$$M_A + M_3 - M_2 - M_1 + M_4 = 0$$

$$M_A := \text{Find}(M_A) \rightarrow 100$$

Разбиваем вал на участки и проводим сечения



Строим эпюру внутренних крутящих моментов по участкам:

$$M_{k1} := M_A = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

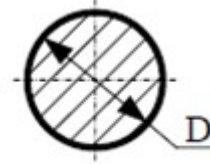
$$M_{k2} := M_A + M_3 = 340 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{k3} := M_A + M_3 - M_2 = 80 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{k4} := M_A + M_3 - M_2 - M_1 = -330 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Находим характеристики сечений вала:

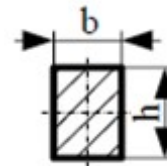
$$W_{\rho 1} := \frac{\pi \cdot D^3 \cdot 10^{-9}}{16} = 4.639 \times 10^{-5} \quad \text{м}^3$$



$$J_{\rho 1} := \frac{\pi \cdot D^4 \cdot 10^{-12}}{32} = 1.434 \times 10^{-6} \quad \text{м}^4$$

$$\alpha := 0.208 \quad \beta := 0.141$$

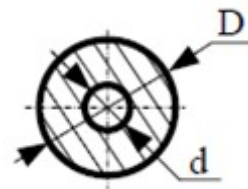
$$W_{\rho 2} := \alpha \cdot h \cdot b^2 \cdot 10^{-9} = 8.175 \times 10^{-6} \quad \text{м}^3$$



$$J_{\rho 2} := \beta \cdot h \cdot b^3 \cdot 10^{-12} = 1.884 \times 10^{-7} \quad \text{м}^4$$

$$W_{\rho 3} := \frac{\pi \cdot (D^3 - d^3) \cdot 10^{-9}}{16} = 3.867 \times 10^{-5} \quad \text{м}^3$$

$$J_{\rho 3} := \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4) \cdot 10^{-12}}{32} = 1.303 \times 10^{-6} \quad \text{м}^4$$



Строим эпюру касательных напряжений по участкам:

$$\tau_1 := \frac{M_{k1} \cdot 10^{-6}}{W_{\rho 1}} = 2.2 \quad \text{МПа}$$

$$\tau_2 := \frac{M_{k2} \cdot 10^{-6}}{W_{\rho 2}} = 41.6 \quad \text{МПа}$$

$$\tau_3 := \frac{M_{k3} \cdot 10^{-6}}{W_{\rho 2}} = 9.8 \quad \text{МПа}$$

$$\tau_4 := \frac{M_{k4} \cdot 10^{-6}}{W_{\rho 3}} = -8.5 \quad \text{МПа}$$

Находим углы закручивания на участках:

$$\varphi_1 := \frac{M_{k1} \cdot 2 \cdot a}{J_{\rho 1} \cdot G \cdot 10^6} = 0.0035 \quad \text{рад}$$

$$\varphi_2 := \frac{M_{k2} \cdot a}{J_{\rho 2} \cdot G \cdot 10^6} = 0.0451 \quad \text{рад}$$

$$\varphi_3 := \frac{M_{k3} \cdot a}{J_{\rho 2} \cdot G \cdot 10^6} = 0.0106 \quad \text{рад}$$

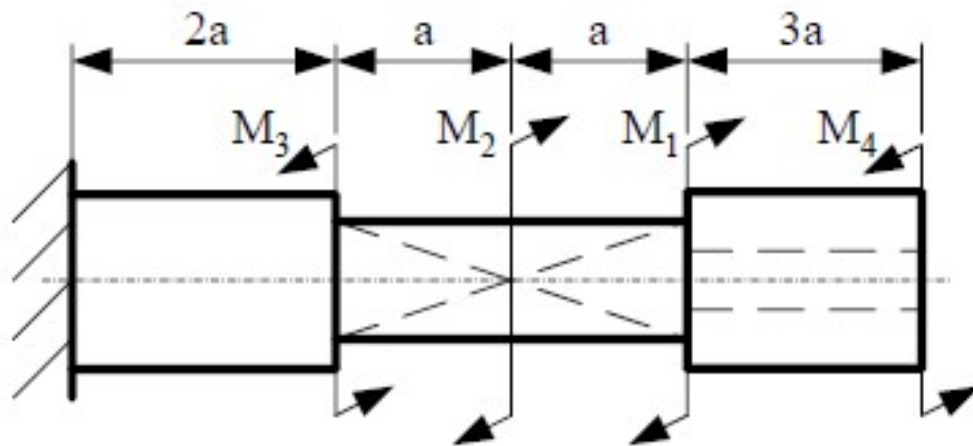
$$\varphi_4 := \frac{M_{k4} \cdot 3 \cdot a}{J_{\rho 3} \cdot G \cdot 10^6} = -0.019 \quad \text{рад}$$

Построение эпюр

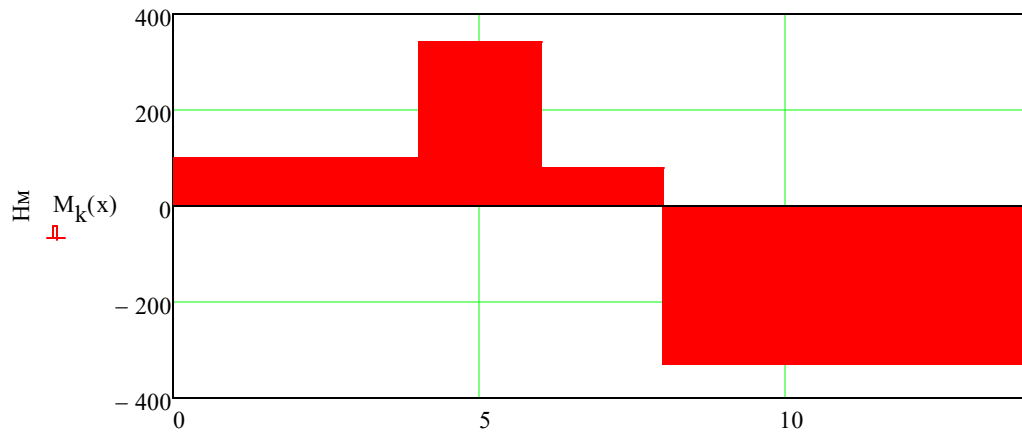
$$M_k(x) := \begin{cases} M_{k1} & \text{if } 0 \leq x < 2 \cdot a \\ M_{k2} & \text{if } 2 \cdot a \leq x < 3 \cdot a \\ M_{k3} & \text{if } 3 \cdot a \leq x < 4 \cdot a \\ M_{k4} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\tau(x) := \begin{cases} \tau_1 & \text{if } 0 \leq x < 2 \cdot a \\ \tau_2 & \text{if } 2 \cdot a \leq x < 3 \cdot a \\ \tau_3 & \text{if } 3 \cdot a \leq x < 4 \cdot a \\ \tau_4 & \text{otherwise} \end{cases}$$

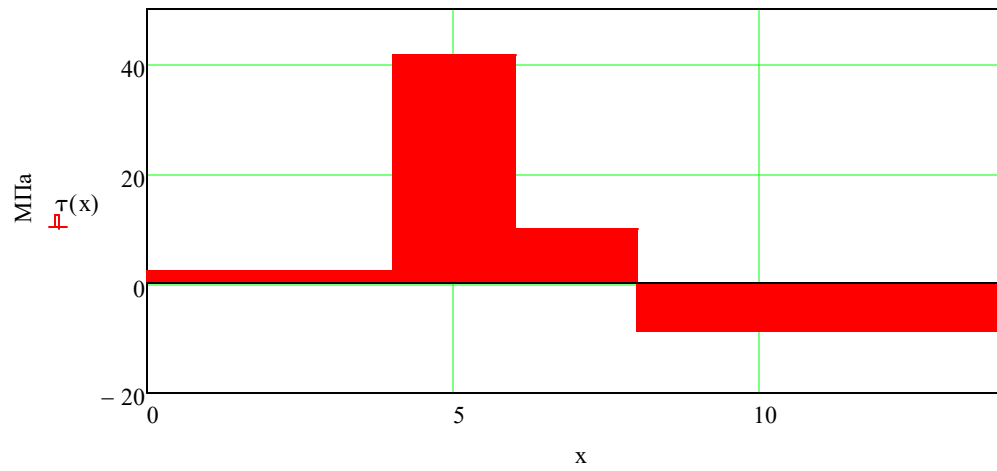
$$\varphi(x) := \begin{cases} \frac{M_{k1} \cdot x}{J_{\rho 1} \cdot G \cdot 10^6} & \text{if } 0 \leq x < 2 \cdot a \\ \varphi_1 + \frac{M_{k2} \cdot (x - 2 \cdot a)}{J_{\rho 2} \cdot G \cdot 10^6} & \text{if } 2 \cdot a \leq x < 3 \cdot a \\ \varphi_1 + \varphi_2 + \frac{M_{k3} \cdot (x - 3 \cdot a)}{J_{\rho 2} \cdot G \cdot 10^6} & \text{if } 3 \cdot a \leq x < 4 \cdot a \\ \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \frac{M_{k4} \cdot (x - 4 \cdot a)}{J_{\rho 3} \cdot G \cdot 10^6} & \text{otherwise} \end{cases}$$



Эпюра внутренних крутящих моментов



Эпюра касательных напряжений



Эпюра углов закручивания

