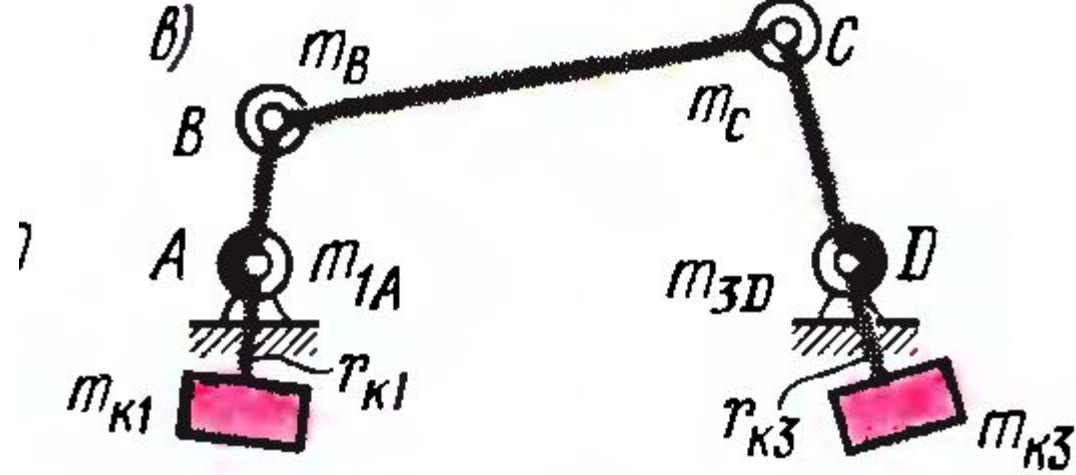
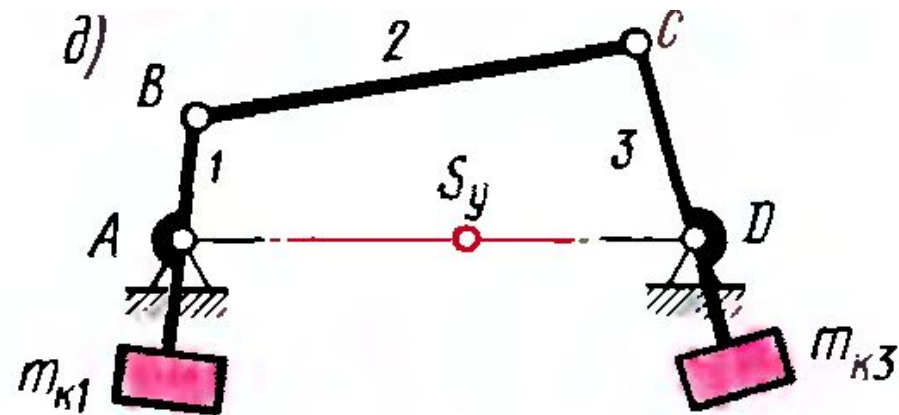
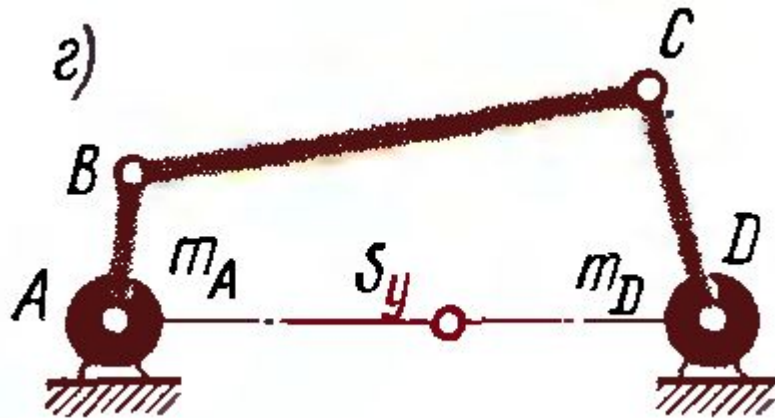




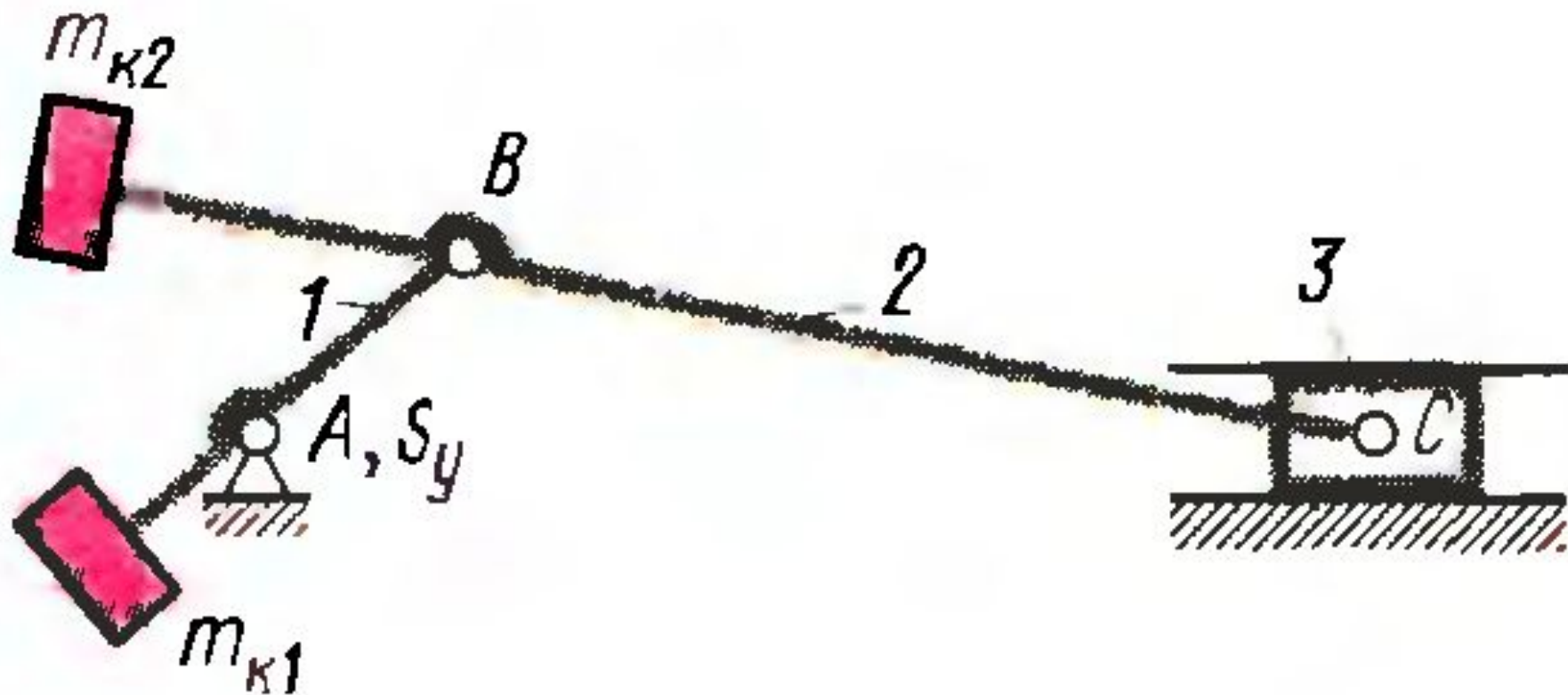
$$m_{K1} r_{K1} = m_B l_1, \quad m_{K3} r_{K3} = m_C l_3.$$



$$m_{\phi 1} = m_{1A} + m_B + m$$

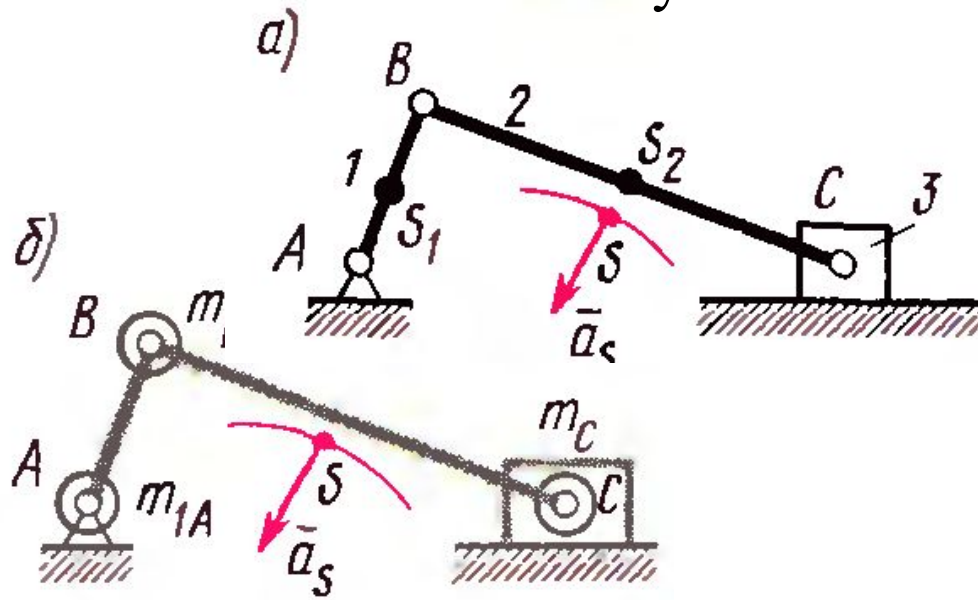
$$m_{\phi 3} = m_{3D} + m_C + m$$

Схема полного статического уравновешивания кривошипно-ползунного механизма*



* решение редко применяется в инженерной практике из-за
значительного роста габаритных размеров механизма

Частичное статическое уравнивание кривошипно-ползунного механизма

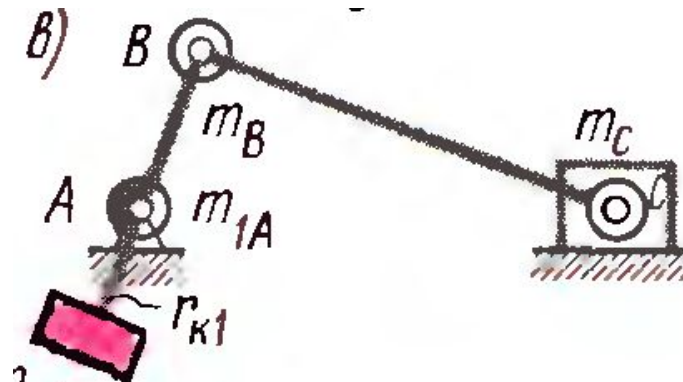


$$m_{1A} = m_1 l_{BS1} / l_1,$$

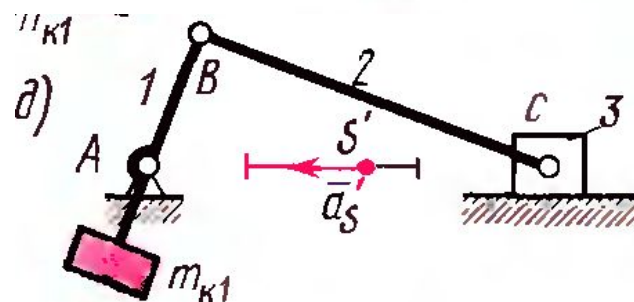
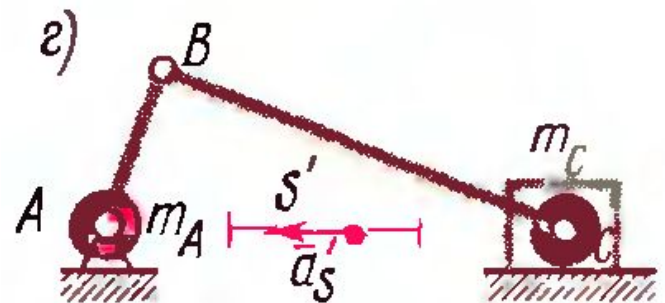
$$m_B = m_{1B} + m_{2B},$$

$$m_{2B} = m_2 l_{CS2} / l_2,$$

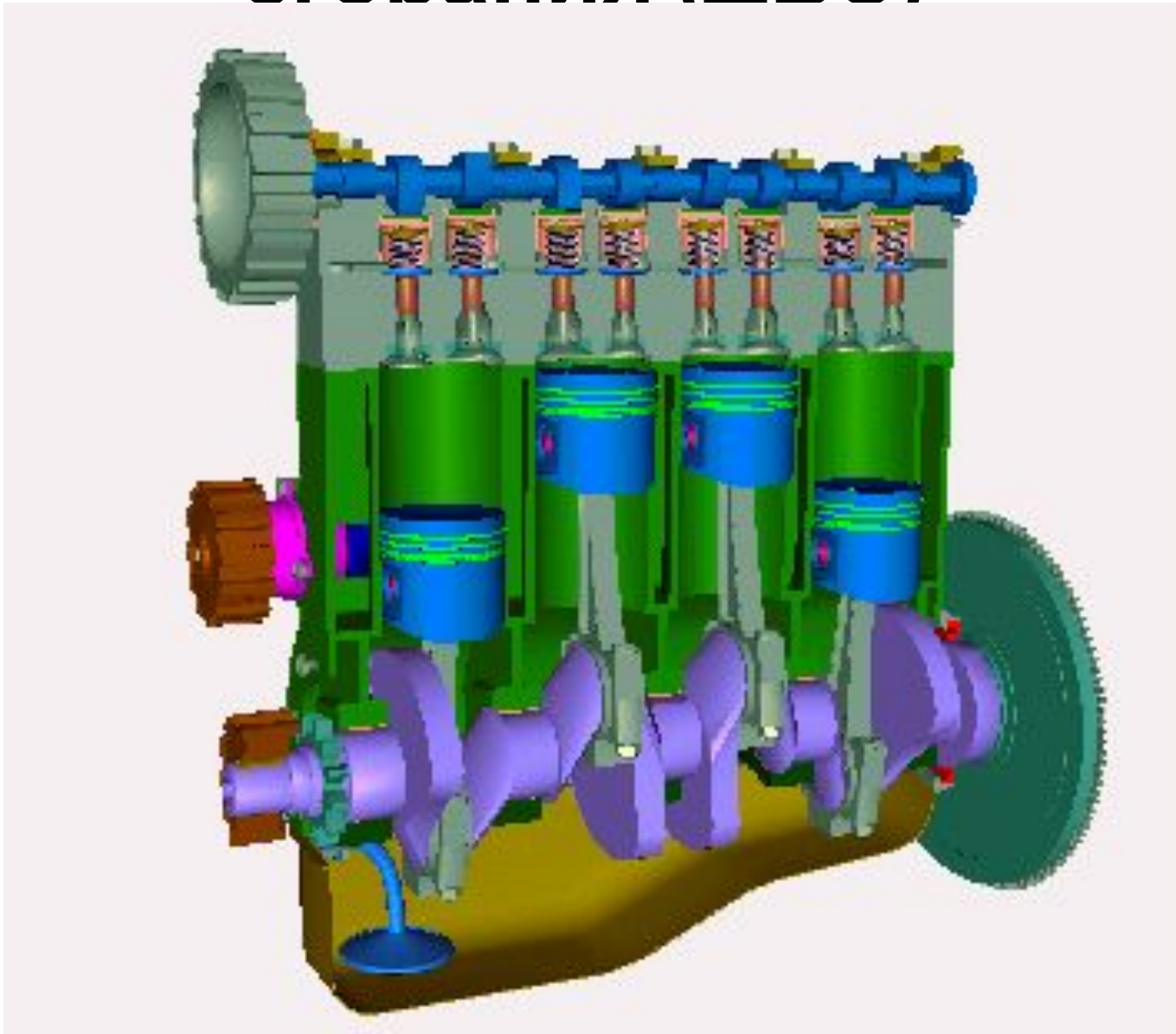
$$m_C = m_{2C} + m_3$$



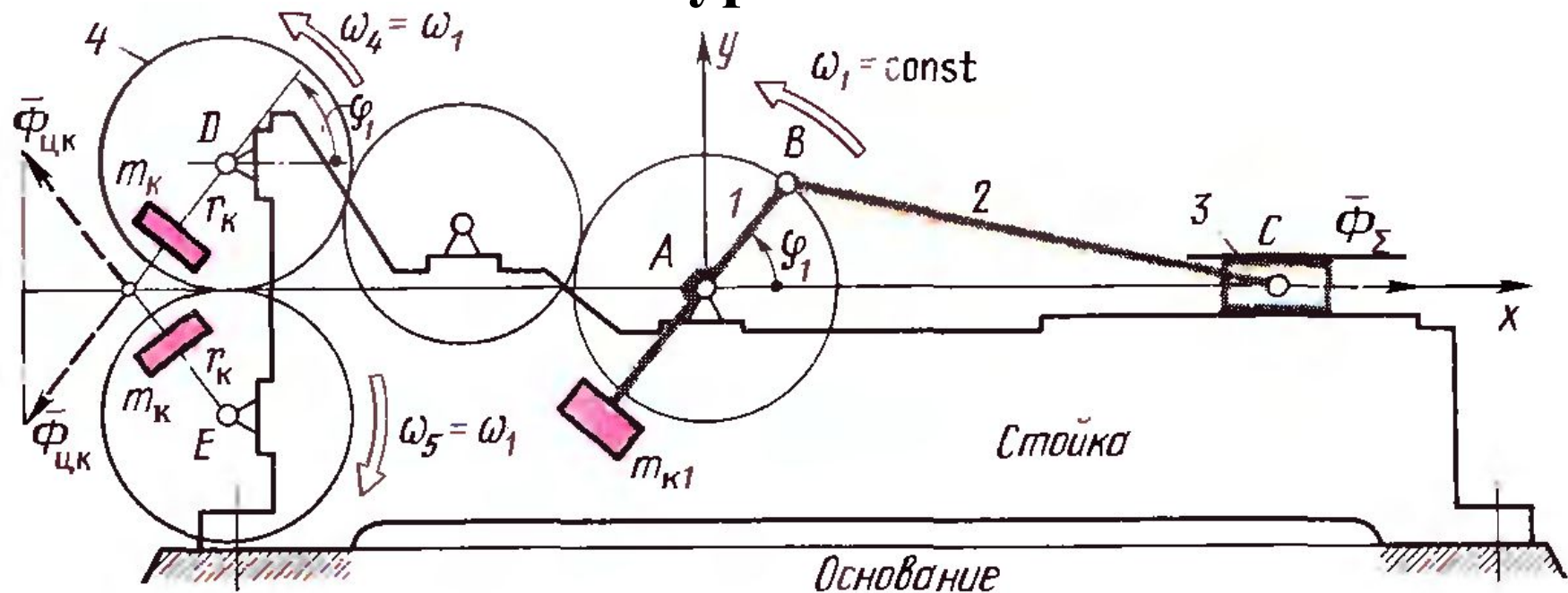
$$m_{k1} \cdot r_{k1} = m_B l_1$$



Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)



Улучшенное статическое уравнивание



Ускорение ползуна

$$a_{cx} \approx \omega_1^2 l_1 \left(\cos \varphi_1 + \frac{1}{\lambda_2} \cos 2\varphi_1 \right)$$

Неуравновешенная сила
инерции ползуна

$$F_{o\Phi x} = \Phi_{\Sigma x} = - \overbrace{(m_{2c} + m_3)}^{m_c} a_{cx},$$

$$\Phi_{\Sigma x} \approx \omega_1^2 l_1 m_C \cos \varphi_1 + \frac{1}{\lambda_2} \omega_1^2 l_1 m_C \cos 2\varphi_1 =$$

$$= \Phi_{Ix} + \Phi_{IIx} \quad \frac{1}{\lambda_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

Сила инерции второго порядка

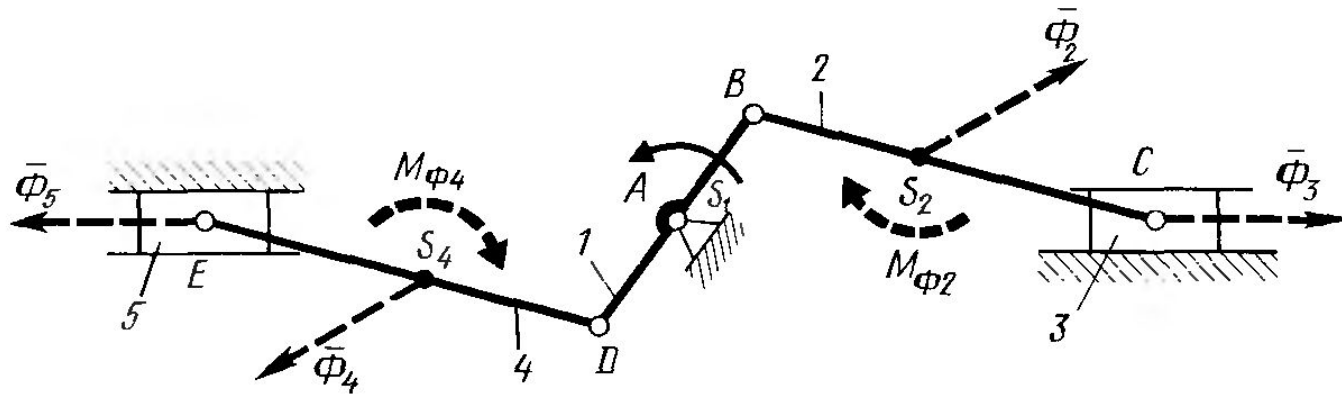
Сила инерции первого порядка

Центробежная сила противовесов

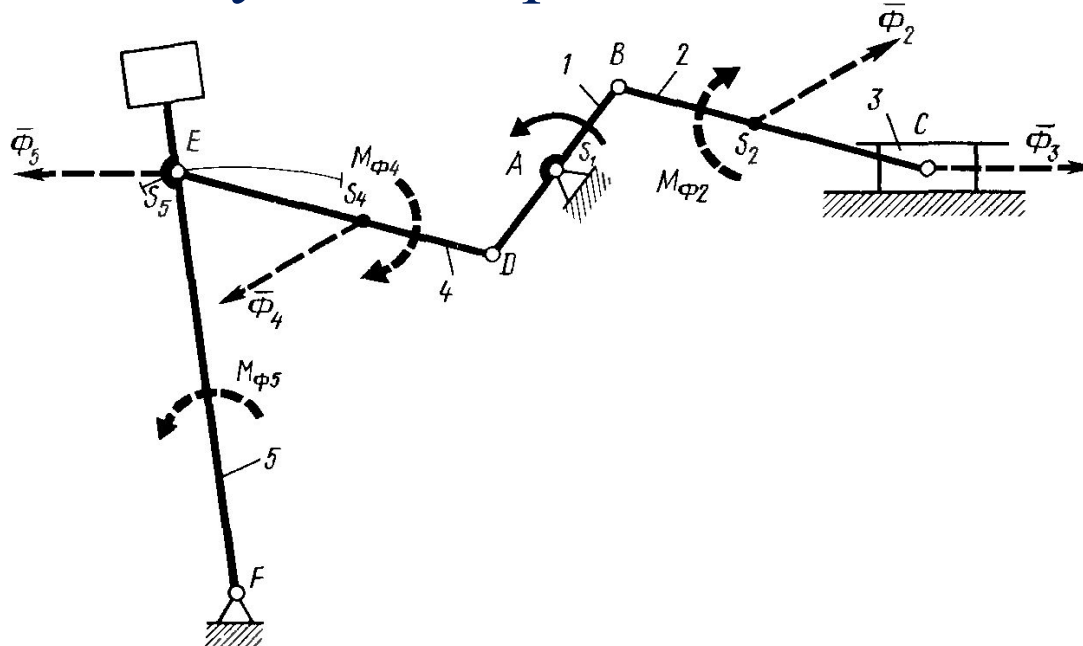
$$\Sigma \hat{\Phi}_{цкx} = -\hat{2} m_k r_k \omega_1^2 \cos \varphi_1$$

$$2m_k r_k = l_1 m_C$$

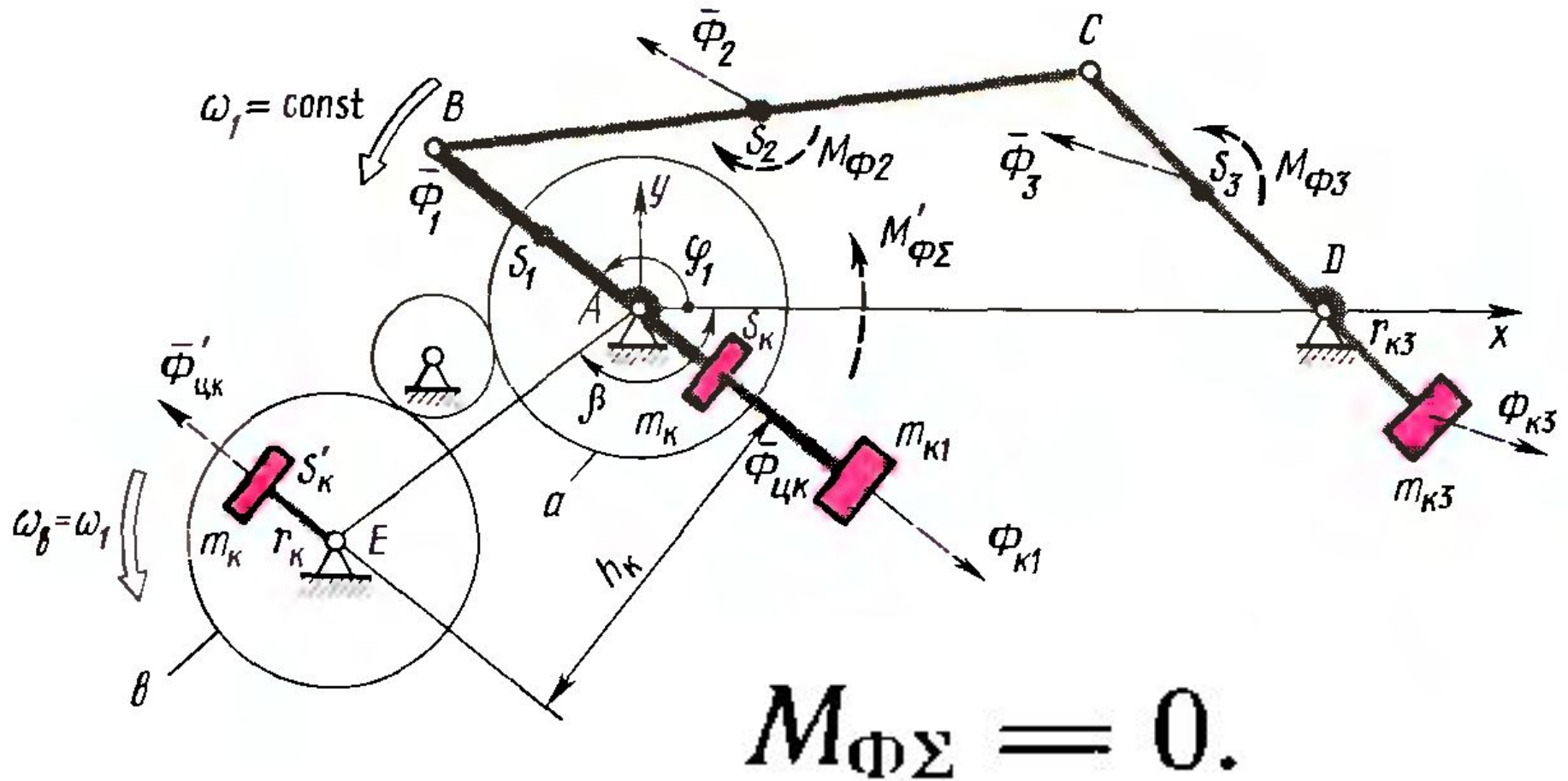
Самоуравновешенный сдвоенный кривошипно-ползунный механизм



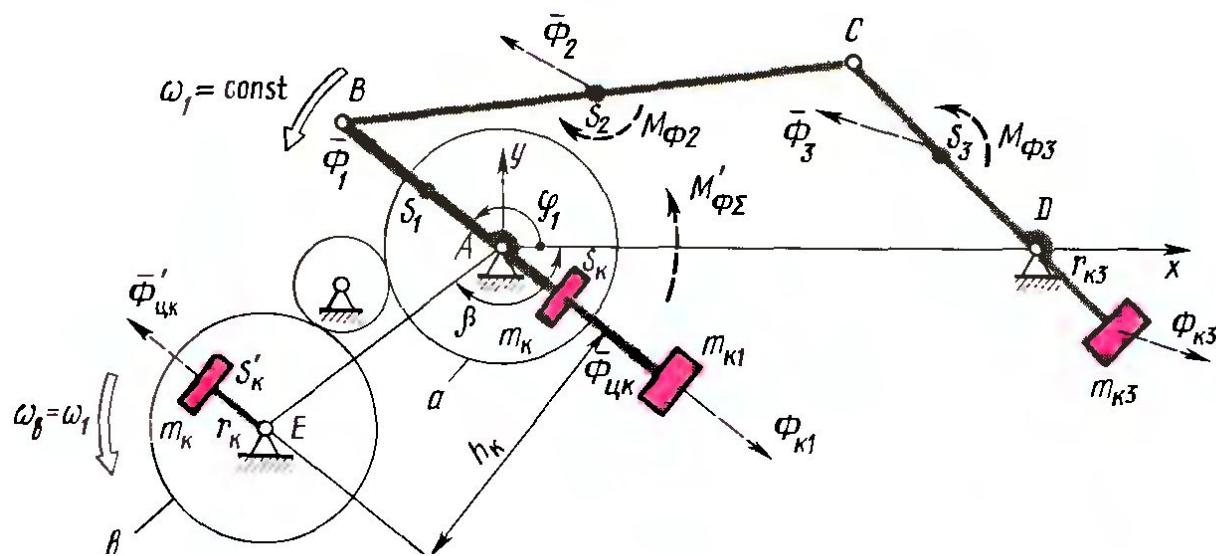
Механизм кузнечнопрессовой машины



Моментное уравновешивание



Массы $\mathbf{m_{k1}}$ и $\mathbf{m_{k3}}$ обеспечивают полное статическое уравновешивание

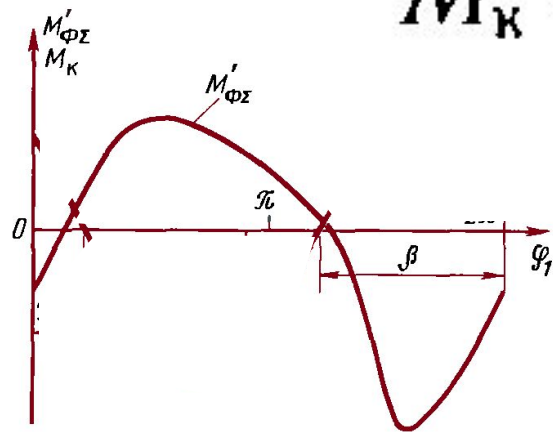


$$M'_{\phi\Sigma} = M_{\phi 2} + M_{\phi 3} + M_A(\bar{\Phi}_2) + M_A(\bar{\Phi}_3) + M_A(\bar{\Phi}_{k3})$$

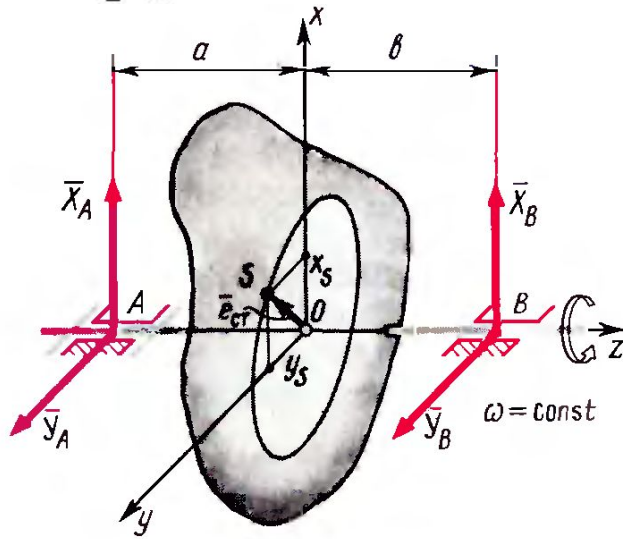
$$h_k = l_{AE} \sin(\varphi_1 + \beta)$$

$$M_k = m_k r_k \omega_1^2 l_{AE} \sin(\varphi_1 + \beta) =$$

$$= M_{kA} \sin(\varphi_1 + \beta)$$



Неуравновешенность ротора и ее виды



$$\left\{ \begin{array}{l} X_A + X_B = F_x; \\ Y_A + Y_B = F_y; \\ -X_A \cdot a + X_B \cdot b = M_{Fy}; \\ Y_A \cdot a - Y_B \cdot b = M_{Fx}. \end{array} \right.$$

$$F_x = \omega^2 \cdot m \cdot x_S; \quad F_y = \omega^2 \cdot m \cdot y_S;$$

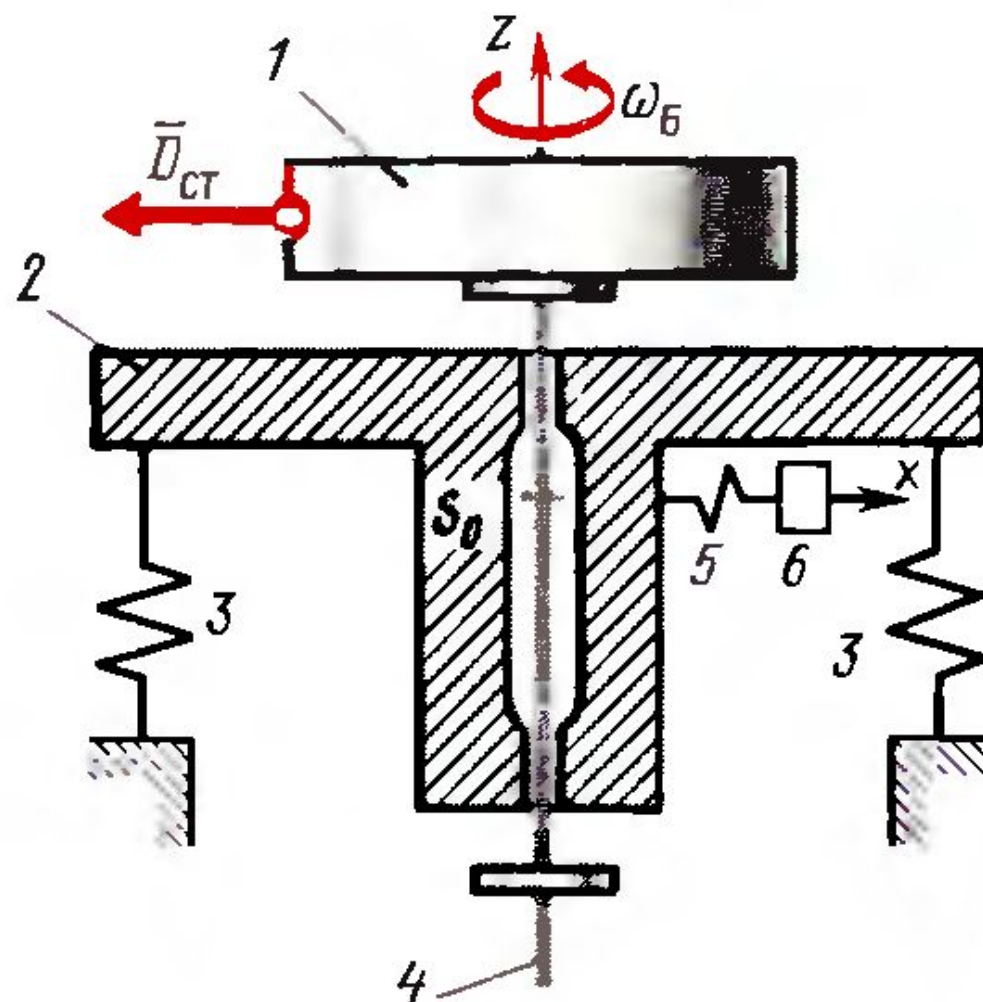
$$M_{Fx} = -\omega^2 \cdot J_{yz}; \quad M_{Fy} = \omega^2 \cdot J_{xz};$$

Статическая $\Rightarrow e_{ct} \neq 0, J_{xz} = J_{yz} = 0$

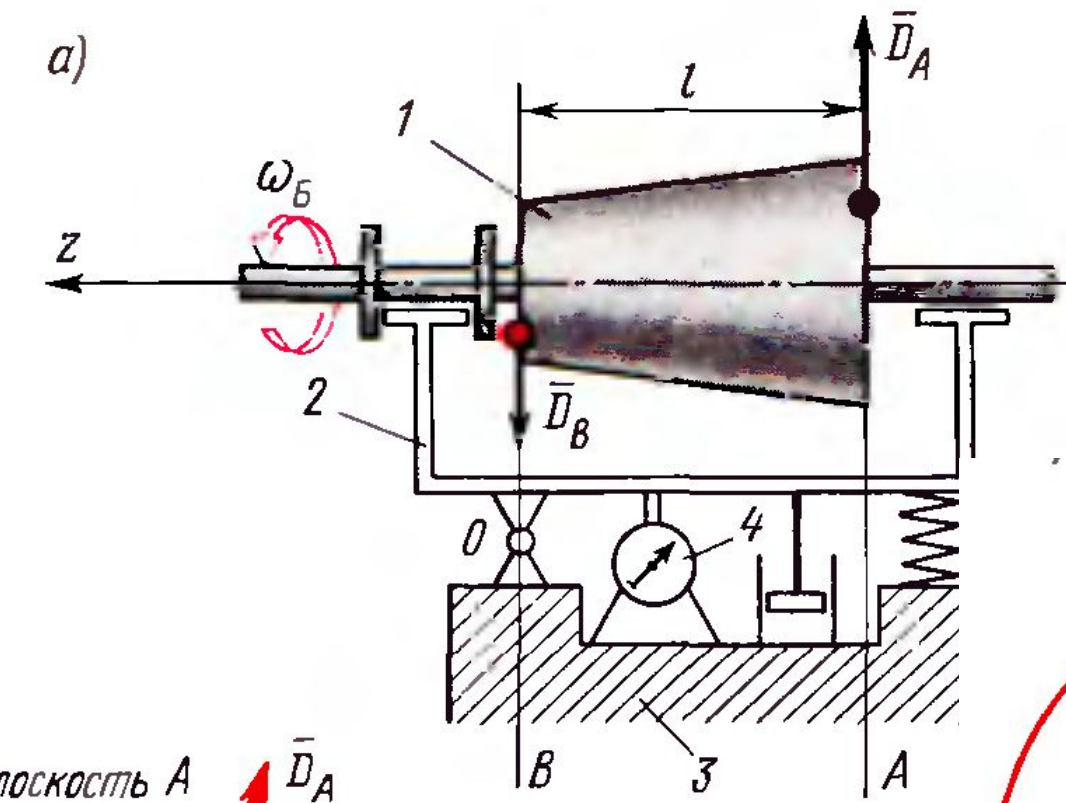
Моментная $\Rightarrow e_{ct} = 0, J_{xz} \neq 0, J_{yz} \neq 0$

Динамическая $\Rightarrow e_{ct} \neq 0, J_{xz} \neq 0, J_{yz} \neq 0$

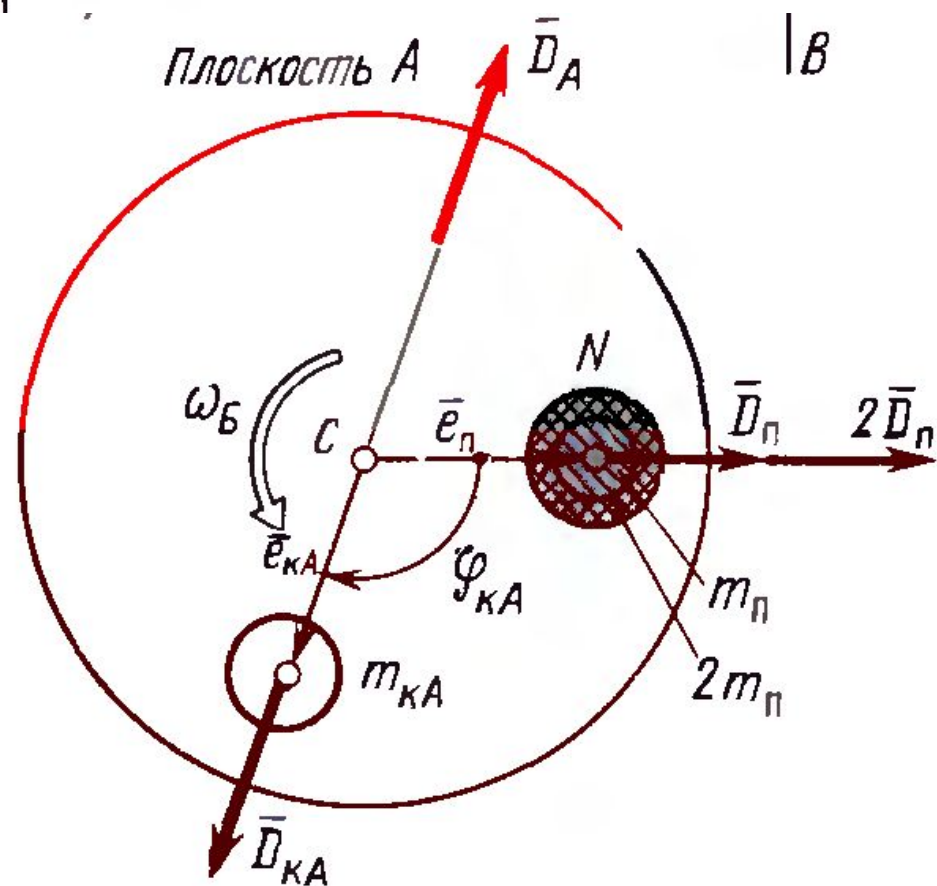
Статическая балансировка.



Динамическая балансировка



Метод двух пробных пусков



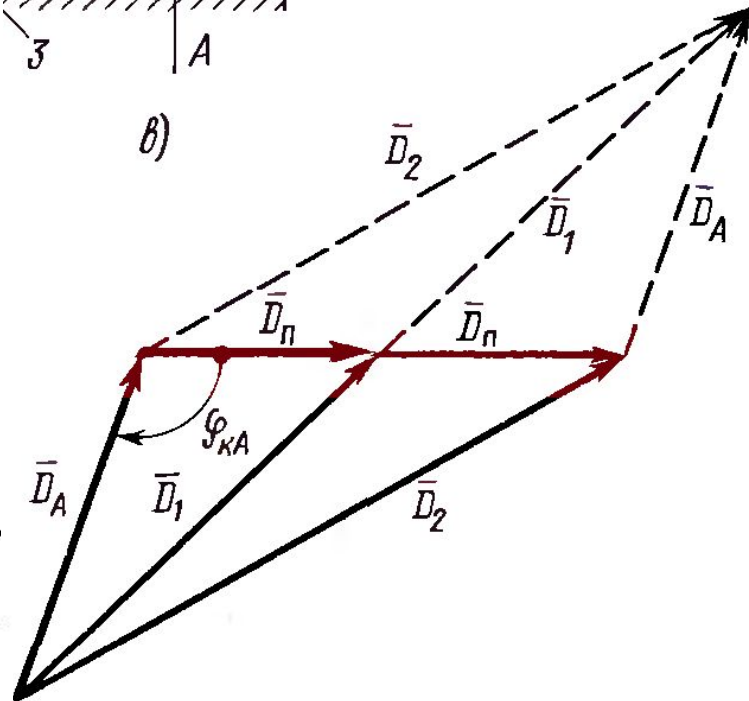
$$S_A = \mu_D D_A$$

$$D_{\Pi} = m_{\Pi} e_{\Pi}$$

$$\bar{D}_1 = \bar{D}_A + \bar{D}_{\Pi} \quad S_1 = \mu_D D_1$$

$$\bar{D}_2 = \bar{D}_A + 2\bar{D}_{\Pi} \quad S_2 = \mu_D D_2$$

$$D_{\Pi} = \sqrt{(D_A^2 + D_2^2 - 2D_1^2)/2}$$



Помножим обе части этого уравнения на μ_D

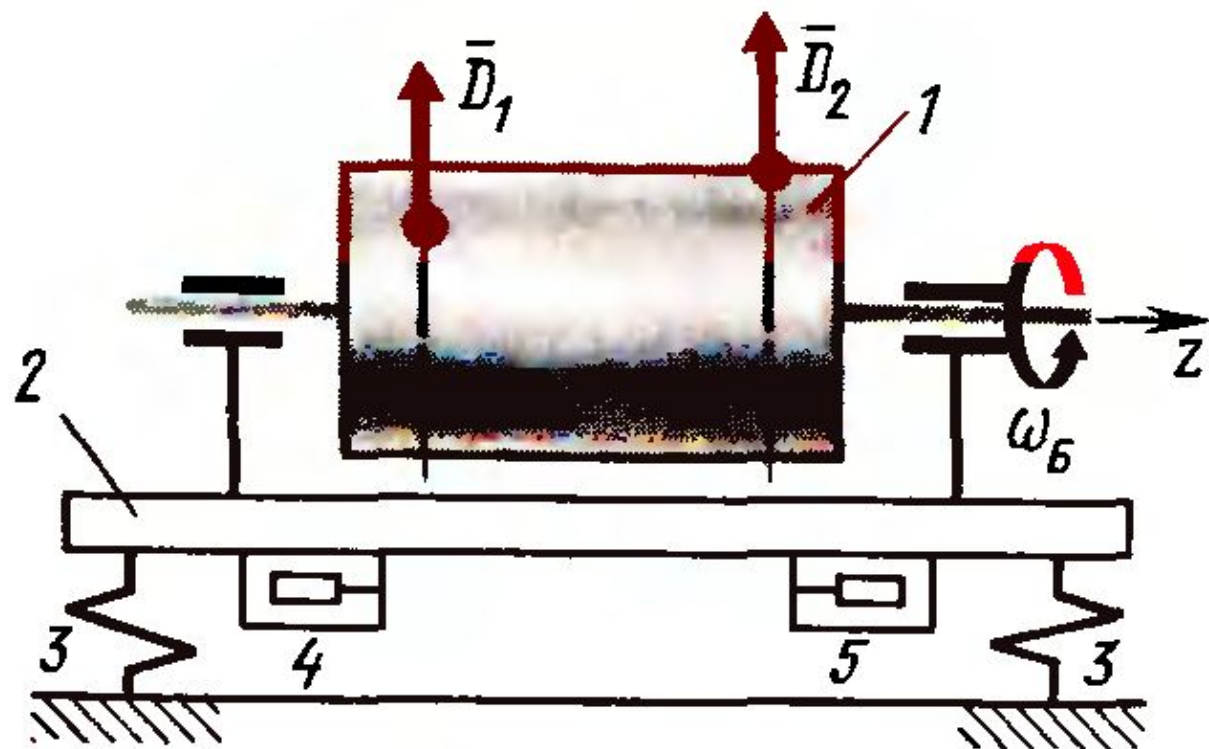
$$\mu_D = (\sqrt{S_A^2 + S_2^2 - 2S_1^2}) / (m_{\Pi} e_{\Pi} \sqrt{2})$$

дисбаланс $\rightarrow D_A = S_A / \mu_D$

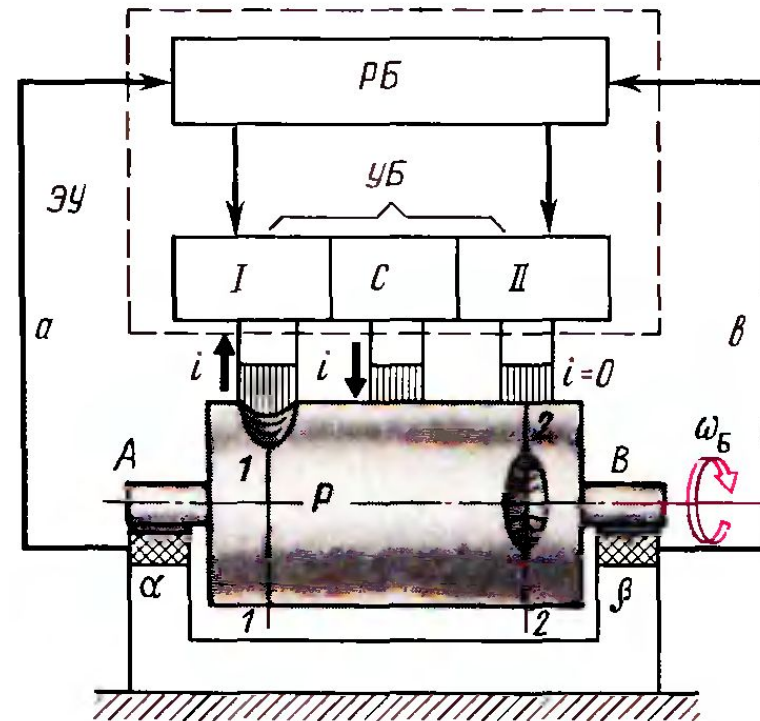
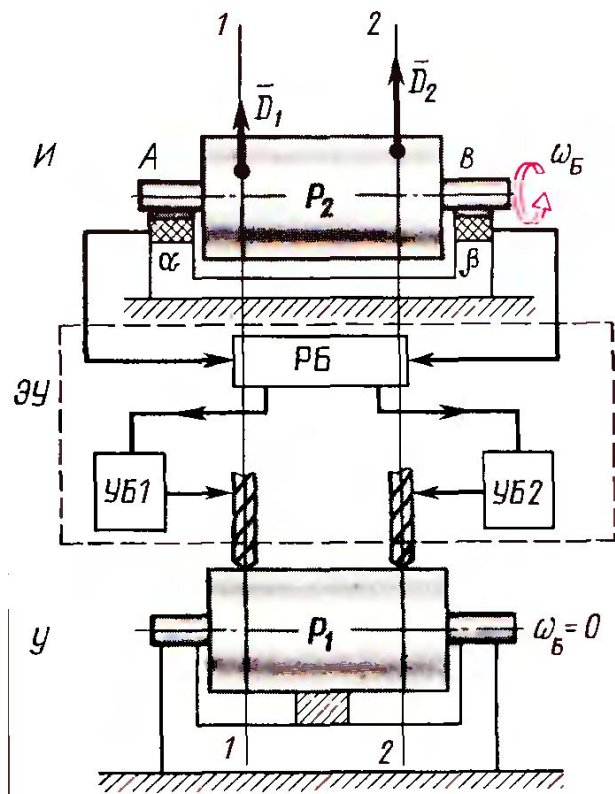
Угловую координату φ_{KA} найдем через ее косинус

$$\cos \varphi_{KA} = (D_A^2 + D_{\Pi}^2 - D_1^2) / 2D_A D_{\Pi},$$

$$\cos \varphi_{KA} = (S_A^2 + S_{\Pi}^2 - S_1^2) / 2S_A S_{\Pi} \quad S_{\Pi} = \mu_D D_{\Pi}.$$



Автоматическая балансировка.



лазер.

