

на оси  $v$  и  $h$

$$\left. \begin{aligned} M_{Iv} &= (M_{I_n} - M_{I_n}) \sin \gamma/2 = \\ &= -2m_j r \omega^2 C_1 \sin \gamma/2 \sin (\gamma - \vartheta)/2 \sin [\alpha + \varphi_1 - (\gamma - \vartheta)/2]; \\ M_{Ih} &= (M_{I_n} + M_{I_n}) \cos \gamma/2 = \\ &= 2m_j r \omega^2 C_1 \cos \gamma/2 \cos (\gamma - \vartheta)/2 \cos [\alpha + \varphi_1 - (\gamma - \vartheta)/2]. \end{aligned} \right\} (136)$$

Выражения (136) показывают, что вектор  $M_I$  при повороте коленчатого вала вращается вокруг его оси, описывая эллипс с полуосями

$$\begin{aligned} v_1 &= 2m_j r \omega^2 C_1 \sin \gamma/2 \sin [(\gamma - \vartheta)/2]; \\ h_1 &= 2m_j r \omega^2 C_1 \cos \gamma/2 \cos [(\gamma - \vartheta)/2], \end{aligned}$$

одна из которых (в зависимости от значений углов  $\gamma$  и  $\vartheta$ ) показывает максимальную, а вторая — минимальную величину неуравновешенного момента сил инерции первого порядка. Угловая скорость вектора  $M_I$

$$\omega_1 = \frac{\omega \operatorname{tg} \gamma/2 \operatorname{tg} [(\gamma - \vartheta)/2]}{\operatorname{tg}^2 \gamma/2 \operatorname{tg}^2 [(\gamma - \vartheta)/2] \sin^2 [\alpha + \varphi_1 - (\gamma - \vartheta)/2] + \cos^2 [\alpha + \varphi_1 - (\gamma - \vartheta)/2]}.$$

Вектор  $M_I$  может быть представлен суммой двух векторов постоянной величины, равномерно вращающихся с угловой скоростью  $\omega$  коленчатого вала в противоположные стороны. Вектор  $M_I^+$ , вращающийся вместе с коленчатым валом, равен полусумме полуосей эллипса; вектор  $M_I^-$ , вращающийся в обратном направлении — модулю их полуразности:

$$M_I^+ = m_j r \omega^2 C_1 \cos \vartheta/2; \quad (137)$$

$$M_I^- = m_j r \omega^2 C_1 |\cos (\gamma - \vartheta/2)|. \quad (138)$$

Из зависимостей (137) и (138) можно получить следующие свойства рассматриваемых двигателей:

1) величина главного момента сил инерции первого порядка двухрядного двигателя пропорциональна величине главного момента центробежных сил соответствующего однорядного двигателя.

2) главный момент сил инерции первого порядка двухрядного двигателя равен нулю при  $C_1 = 0$ , или при одновременном выполнении условий:

$$\cos \vartheta/2 = 0; \quad \cos (\gamma - \vartheta/2) = 0. \quad (139)$$

Таким образом, кроме четырехтактных двигателей V8 (с расположением кривошипов в одной плоскости) и V12, у которых  $C_1 = 0$ , момент сил инерции первого порядка автоматически уравновешивается только в двигателях с противоположащими цилиндрами ( $\gamma = 180^\circ$ ) и при противоположном направлении криво-