УРАВНОВЕШИВАНИЕ МНОГОЦИЛИНДРОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Матвиенко Ю. О., Мовчан В. В., студенты;
Зайцев И. Г., доцент

В многоцилиндровых двигателях или компрессорах полное или частичное уравновешивание может быть получено путём соответствующего подбора величины и расположения движущих масс. Вращающаяся масса m_A характеризуется силами инерции только первого порядка. Сила инерции массы m, совершающей возвратно-поступательное движение, представляет бесконечную сумму периодических сил порядков: 1, 2, 4-го и т.д.

Если ограничиться членом 2-го порядка, то можно записать следующее выражение для проекции силы инерции $\vec{P}_u$ поступательно движущихся масс на ось, направленную от оси вращения по траектории ползуна:

$$\vec{P}_u = m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \left(cos\,\varphi + \frac{cos\,2\varphi}{k} \right), \qquad (1)$$

где φ – угол, образованный кривошипом с указанной осью;

$k = \dfrac{l}{R}$ - отношение длины шатуна к длине кривошипа.

Предположим, что вес поршней и шатунов, а также длины кривошипов и шатунов одинаковы. Тогда если кривошипы образуют с первым кривошипом углы α, β, γ и т.д., то проекция главного вектора $\vec{P}_{u1}$ сил инерции первого порядка на указанную выше ось всех поступательно движущихся масс двигателя выразится следующей формулой:

$$\begin{aligned} \vec{P}_{u1} &= m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot [cos\,\varphi + cos(\varphi+\alpha) + cos(\varphi+\beta) + cos(\varphi+\gamma) + \ldots] = \\ &= m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot [cos\,\varphi \cdot (1 + cos\,\alpha + cos\,\beta + cos\,\gamma + \ldots) - \\ &- sin\varphi \cdot (sin\alpha + sin\beta + sin\gamma + \ldots)]. \end{aligned} \qquad (2)$$

Аналогично проекция главного вектора $\vec{P}_{u2}$ сил инерции 2-го порядка выразится:

$$\begin{aligned} \vec{P}_{u2} &= m \cdot \omega^2 \cdot \frac{R}{k} \cdot [\cos 2\varphi \cdot (1 + \cos 2\alpha + \cos 2\beta + \cos 2\gamma + \ldots) - \\ &- \sin\varphi \cdot (\sin 2\alpha + \sin 2\beta + \sin 2\gamma + \ldots)]. \end{aligned} \qquad (3)$$

Таким образом, для уравновешивания главного вектора сил инерции 1-го и 2-го порядков необходимо, чтобы соблюдались следующие условия:

$$\begin{cases} 1+\cos\alpha+\cos\beta+\cos\gamma+\ldots=0; \\ \sin\alpha+\sin\beta+\sin\gamma+\ldots=0; \\ 1+\cos 2\alpha+\cos 2\beta+\cos 2\gamma+\ldots=0; \\ \sin 2\alpha+\sin 2\beta+\sin 2\gamma+\ldots=0. \end{cases} \tag{4}$$

Для полного уравновешивания необходимо добавочное условие, чтобы главный момент $\vec{M}_u$ сил инерции поступательно движущихся масс относительно оси OZ, проходящей перпендикулярно к плоскости осей цилиндров, равнялась нулю. Это условие может быть выражено в виде следующего уравнения:

$$\vec{M}_u = m\cdot\omega^2\cdot R\cdot\left\{x_1\cdot\left(\cos\varphi+\frac{\cos 2\varphi}{k}\right)+\right.$$
$$\left.+x_2\cdot\left(\cos(\varphi+\alpha)+\frac{\cos 2(\varphi+\alpha)}{k}\right)+\ldots\right\}=0 \tag{5}$$

Из этого уравнения получаем следующие дополнительные условие уравновешивания главного момента сил инерции 1-го и 2-го порядков:

$$\begin{cases} x_1+x_2\cdot\cos\alpha+x_3\cdot\cos\beta+\ldots=0; \\ x_2\cdot\sin\alpha+x_3\cdot\sin\beta+\ldots=0; \\ x_1+x_2\cdot\cos 2\alpha+x_3\cdot\cos 2\beta+\ldots=0; \\ x_2\cdot\sin 2\alpha+x_3\cdot\sin 2\beta+\ldots=0; \end{cases} \tag{6}$$

где x_1, x_2, x_3, … - координаты шатунов вдоль

Для двухцилиндрового двигателя кривошипы расположены под углом 180^0 и условия принимают вид

$$\begin{cases} 1+\cos\alpha=0; \\ \sin\alpha=0; \\ 1+\cos 2\alpha=0; \\ \sin 2\alpha=0. \end{cases} \tag{7}$$

Следовательно, в этом двигателе главный вектор сил инерции первого порядка будет уравновешен, но силы инерции второго порядка, проекция которых равна $m\cdot\omega^2\cdot\frac{R}{k}\cdot 2\cdot\cos 2\varphi$, не будет уравновешена.

А значит, неуравновешенный момент $\vec{M}'_u$ сил инерции составит:

$$\vec{M}'_u = m\cdot\omega^2\cdot R\cdot\sqrt{3}\cdot a\cdot\left[\cos(\varphi+30°)+\frac{\cos(2\varphi-30°)}{k}\right], \tag{8}$$

где a – расстояние между шатунами.

Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 23-26 квітня 2013 р.: у 2-х ч. / Ред.кол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. - Суми : СумДУ, 2013. - Ч.1. - С. 188-189.