

ОБЩИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗА УРАВНОВЕШЕННОСТИ МНОГОРЯДНЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Исследование уравновешенности поршневых двигателей на стадии проектирования имеет важное значение для определения оптимальной (по критерию уравновешенности) конструктивной схемы двигателя, а также выявления неуравновешенных возмущающих сил и моментов с целью выбора и расчета подвески. Формулы для анализа уравновешенности двухрядных одновальных поршневых двигателей [2] непригодны при анализе уравновешенности многорядных двигателей, создаваемых для тепловозов и других энергоемких силовых установок.

Принципиальная конструктивная схема многорядного многоцилиндрового двигателя (типа $m \times n$) представлена на рис. 1.

Методика анализа уравновешенности многорядного двигателя по общим зависимостям основывается на определении проекций на оси прямоугольной системы координат (оси OX и OY) векторов результирующих сил инерции и их моментов [1]. По проекциям векторов определяются значения векторов неуравновешенных сил (моментов) и их направление относительно оси OX : OX — координатная ось, направленная вдоль оси первого (переднего) цилиндра в первой кривошипной плоскости (плоскости вращения кривошипа) от коленчатого вала к поршню; OY — координатная ось, перпендикулярная к осям коленчатого вала и переднего цилиндра в первой кривошипной плоскости, направленная от оси коленчатого вала; i — порядковый номер плоскостей (от первой кривошипной плоскости), перпендикулярных к оси коленчатого вала; n — число плоскостей, перпендикулярных к оси коленчатого вала; k — порядковый номер цилиндров в плоскости, перпендикулярной к оси коленчатого вала (нумерация ведется по ходу вращения коленчатого вала от первого цилиндра. Оси первых цилиндров во всех кривошипных плоскостях расположены в продольной плоскости, проходящей через ось коленчатого вала и ось OX); m — число осей цилиндров в плоскости, перпендикулярной к оси коленчатого вала; $\gamma_{i,k}$ — угол между осями первого цилиндра в первой плоскости и k -го цилиндра в i -й плоскости; $\delta_{i,k}$ — угол между первым кривошипом первого цилиндра в первой плоскости и кривошипом k -го цилиндра в i -й плоскости; R — радиус кривошипа коленчатого вала; α — угол поворота коленчатого вала (отсчитывается по первому кривошипу коленчатого вала от оси OX — по ходу вращения); ω — угловая скорость вращения коленчатого вала; λ — отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; m_i — масса элементов (масса поршня и верхней головки шатуна) кривошипно-шатунного механизма (к.ш.м.) одного цилиндра, совершающих возвратно-поступательное движение; m_r — масса элементов (масса кривошипа и нижней головки шатуна) к.ш.м. одного цилиндра, совершающих вращательное движение; a — расстояние между осями смежных цилиндров в одном ряду; b — смещение смежных рядов цилиндров (блоков). Остальные обозначения см. в работе [2].

Приводим общие зависимости для анализа уравновешенности многоряд-

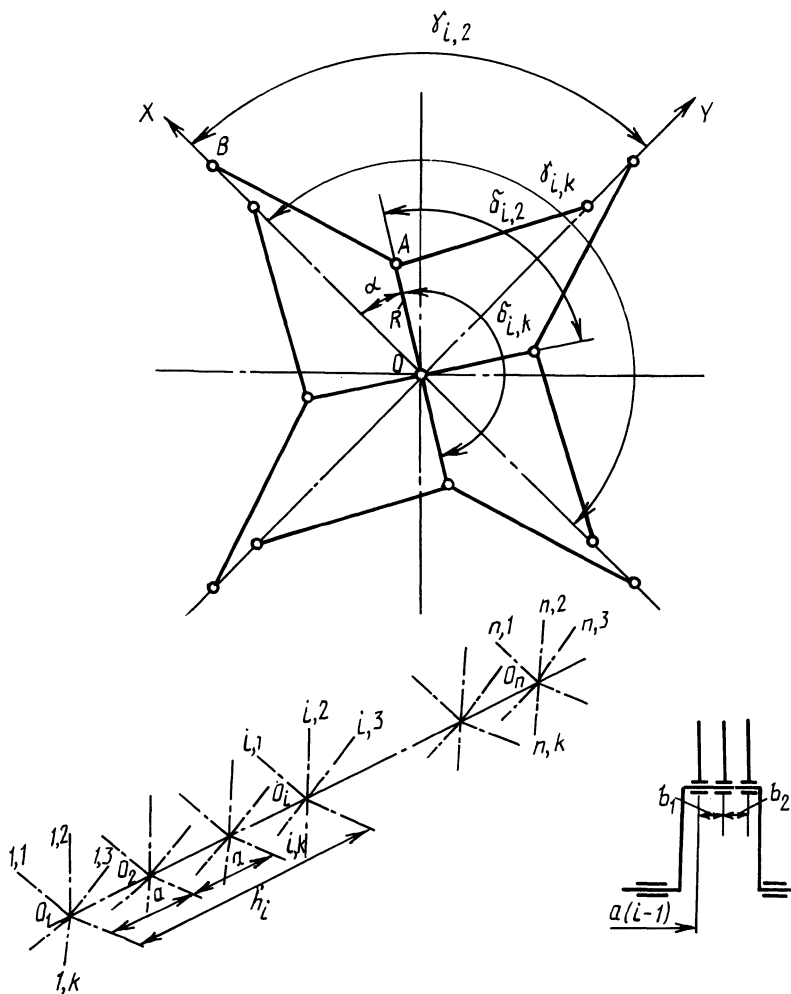


Рис. 1. Схема для анализа уравновешенности многорядных поршневых двигателей (типа $m \times n$)

ных поршневых двигателей.

Результирующая сила инерции первого порядка

$$\Sigma F_{jI} = [(\Sigma F_{jI(x)})^2 + (\Sigma F_{jI(y)})^2]^{1/2},$$

где

$$\Sigma F_{jI(x)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m F_{jIi,k(x)} = m_j R \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \cos \gamma_{i,k} \cos(\alpha + \delta_{i,k} - \gamma_{i,k});$$

$$\Sigma F_{jI(y)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m F_{jIi,k(y)} = m_j R \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \sin \gamma_{i,k} \cos(\alpha + \delta_{i,k} - \gamma_{i,k})$$

Угол между линией действия результирующего вектора и осью OX

$$\cos \varphi_{\text{Иотн}} = |\Sigma F_{jI(x)}| / \Sigma F_{jI}.$$

Результирующая сила инерции второго порядка

$$\Sigma F_{jII} = [(\Sigma F_{jII(x)})^2 + (\Sigma F_{jII(y)})^2]^{1/2},$$

где

$$\Sigma F_{jII(x)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m F_{jIIi,k(x)} = m_j R \omega^2 \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \cos \gamma_{i,k} \cos[2(\alpha + \delta_{i,k} - \gamma_{i,k})];$$

$$\Sigma F_{jII(y)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m F_{jIIi,k(y)} = m_j R \omega^2 \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \sin \gamma_{i,k} \cos[2(\alpha + \delta_{i,k} - \gamma_{i,k})];$$

$$\cos \varphi_{II\text{отн}} = |\Sigma F_{jII(x)}| / \Sigma F_{jII}.$$

Результирующая центробежная сила

$$\Sigma F_r = [(\Sigma F_{r(x)})^2 + (\Sigma F_{r(y)})^2]^{1/2},$$

где

$$\Sigma F_{r(x)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m F_{ri,k(x)} = m_r R \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \cos(\alpha + \delta_{i,k});$$

$$\Sigma F_{r(y)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m F_{ri,k(y)} = m_r R \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \sin(\alpha + \delta_{i,k});$$

$$\cos \varphi_{r\text{отн}} = |\Sigma F_{r(x)}| / \Sigma F_r.$$

Результирующий момент сил инерции первого порядка

$$\Sigma M_{jI} = [(\Sigma M_{jI(x)})^2 + (\Sigma M_{jI(y)})^2]^{1/2},$$

где

$$\Sigma M_{jI(x)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m M_{jIIi,k(x)} = -m_j R \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m h_{i,k} \sin \gamma_{i,k} \cos(\alpha + \delta_{i,k} - \gamma_{i,k});$$

$$\Sigma M_{jI(y)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m M_{jIIi,k(y)} = m_j R \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m h_{i,k} \cos \gamma_{i,k} \cos(\alpha + \delta_{i,k} - \gamma_{i,k});$$

$$h_{i,k} = (i-1)a + (k-1)b.$$

Угол между линией действия вектора результирующего момента и осью OX

$$\cos \varphi_{\text{Иотн}} = \frac{|\sum M_{jI(x)}|}{\sum M_{jI}}$$

Результирующий момент сил инерции второго порядка

$$\sum M_{jII} = [(\sum M_{jII(x)})^2 + (\sum M_{jII(y)})^2]^{1/2},$$

где

$$\sum M_{jII(x)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m M_{jIIi,k(x)} = -m_j R \omega^2 \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m h_{i,k} \sin \gamma_{i,k} \cos [2(\alpha + \delta_{i,k} - \gamma_{i,k})];$$

$$\sum M_{jII(y)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m M_{jIIi,k(y)} = m_j R \omega^2 \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m h_{i,k} \cos \gamma_{i,k} \cos [2(\alpha + \delta_{i,k} - \gamma_{i,k})];$$

$$\cos \psi_{\text{IIотн}} = |\sum M_{jII(x)}| / \sum M_{jII}.$$

Результирующий момент центробежных сил инерции

$$\sum M_r = [(\sum M_{r(x)})^2 + (\sum M_{r(y)})^2]^{1/2},$$

где

$$\sum M_{r(x)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m M_{ri,k(x)} = -m_r R \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m h_{i,k} \sin(\alpha + \delta_{i,k});$$

$$\sum M_{r(y)} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m M_{ri,k(y)} = m_r R \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m h_{i,k} \cos(\alpha + \delta_{i,k});$$

$$\cos \psi_{\text{rотн}} = |\sum M_{r(x)}| / \sum M_r.$$

Проверка по условию приведения системы сил только к результирующей (выполняется для случая, когда $\sum F_{\xi} \neq 0$ и $\sum M_{\xi} \neq 0$):

$$\sum F_{\xi(x)} \sum M_{\xi(x)} + \sum F_{\xi(y)} \sum M_{\xi(y)} = 0,$$

где $\xi = I, II, r$.

Приведенные зависимости пригодны для анализа уравновешенности одновальных поршневых двигателей различных конструктивных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железко Б.Е. Основы теории и динамика автомобильных и тракторных двигателей. — Минск, 1980. — 304 с. 2. Общие формулы анализа уравновешенности поршневых автотракторных двигателей // Двигателестроение. — 1979. — № 3. — С. 15–17.