

**РАСЧЕТ ГРУЗОВ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ  
КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ-53**

*Представлена методика расчета грузов, устанавливаемых на коленчатые валы при их балансировке. Рекомендации позволят снизить шум, вибрацию двигателей и увеличить ресурс их работы.*

**Ключевые слова:** методика, коленчатые валы, уравновешенные массы, ресурс работы двигателей.

Силы инерции первого порядка и их моменты в V-образных двигателях не уравновешены. Поэтому при балансировке коленчатых валов этих двигателей на шатунные шейки устанавливают грузы, масса которых  $m_r$  заменяет массу деталей кривошипно-шатунного механизма (КШМ), отсутствующих при балансировке. В общем случае для V-образных восьмицилиндровых двигателей (рис. 1)

$$m_r = m_m + m_{nn} + 2m_r + 2m_{jn} \quad (1)$$

где  $m_m$  и  $m_{nn}$  – массы масла в полости шатунной шейки и двух пробок грязесборника в шатунных шейках, приведенные к оси шатунной шейки;

$m_r$  – масса деталей КШМ  $m_j$ , совершающая вращательное движение;

$m_{jn}$  – приведенная к оси шатунной шейки масса деталей КШМ, которая совершает возвратно-поступательное движение [1,2].

Обычно приведение массы  $m_j$  к оси шатунной шейки осуществляется по формуле [1, 2] :

$$m_{jn} = 0,5m_j \quad (2)$$

Тогда (1) можно переписать так:

$$m_r = m_m + m_{nn} + 2m_r + m_j \quad (3)$$

Уравнение (2) является приближенным, потому что не учитывает влияния на

$m_{jn}$  – параметра  $\lambda (h = \frac{r}{\ell_{ш}}$ ;  $r$  – радиус кривошипа;  $\ell_{ш}$  – длина шатуна).

Определим значение  $m_{jn}$  с учетом  $\lambda$ , исходя из условия неизменности кинематической энергии массы  $m_j$  к оси шатунной шейки. Кинетическая энергия массы  $m_j$ , сосредоточенной на оси поршневого пальца и приведенной к оси шатунной шейки:

$$E_j = 0,5m_jV_n^2 \text{ и } E_R = 0,5J_{пр}\omega^2 \quad (4)$$

где  $V_n$  – скорость поршня;  $J_{пр}$  – момент инерции поршня относительно оси вращения коленчатого вала массы  $m_j$ , приведенной к оси шатунной шейки;  $\omega$  – угловая скорость коленчатого вала.

$$J_{пр} = m_jr^2 \text{ и } \omega = \frac{\pi n}{30} \quad (5)$$

где  $n$  – частота вращения коленчатого вала.

При условии, что  $E_j = E_R$ , с учетом (5) из уравнений (4) получим:

$$m_{jn} = m_j \left( \frac{v_n}{r\omega} \right)^2 \quad (6)$$

\* - автор, с которым следует вести переписку.

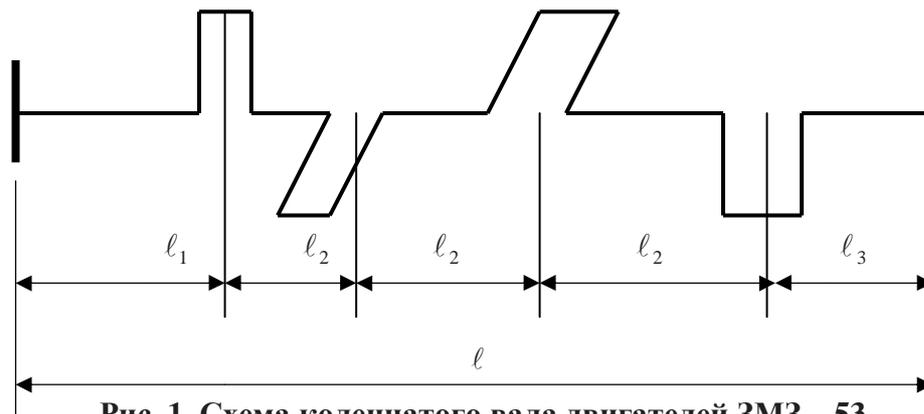


Рис. 1. Схема коленчатого вала двигателей ЗМЗ – 53.

Скорость поршня [3]

$$v_n = r\omega(\sin \alpha + 0,5\lambda \sin 2\alpha),$$

где  $\alpha$  – угол поворота кривошипа.

Тогда

$$m_{jn} = m_j (\sin \alpha + 0,5\lambda \sin 2\alpha)^2 \quad (7)$$

Следовательно, масса  $m_{jn}$  зависит от  $\alpha$  и является переменной величиной.

Для удобства расчета найдем среднее значение  $m_{jn}$ . В уравнении (6)  $v_n$  заменим средней скоростью поршня:

$$v_n = \frac{S_n}{30}, \quad (8)$$

где  $S=2r$  – ход поршня.

Подставляя (8) в (6), получим:

$$m_{jn} = m_j \left( \frac{S}{\pi r} \right)^2 \text{ или } m_{jn} = 0,405m_j \quad (9)$$

После интегрирования уравнения (7) будем иметь:

$$m_{jn} = 0,5(1 + 0,25\lambda^2)m_j \quad (10)$$

Для существующих моделей двигателей  $\lambda = 0,25 - 0,30$  [4]. Учитывая эти данные и сравнивая значения  $m_{jn}$ , определенные по (9) и (10), видим, что они в среднем отличаются друг от друга на 19%. При расчетах необходимо пользоваться уравнением (10), в котором  $m_{jn}$  является средним значением приведенной массы. В этом случае уравнение (1) примет вид:

$$m_r = m_m + m_{nn} + 2m_R + (1 + 0,25\lambda^2)m_j \quad (11)$$

Из-за разницы значений  $m_r$ , определенных по (3) и (11), при сборке V-об-

разных восьмицилиндровых двигателей (рис. 1) в плоскостях маховика и шкива появляется дисбаланс:

$$D_r = 0,79\lambda^2 r l^{-1} l_2 m_j$$

Обычно в условиях производства коленчатые валы балансируют без пробок грязесборников в шатунных шейках, а виды в сборе с маховиком и сцеплением – с пробками. Масса пробок имеет отклонения  $\pm m_j$  от номинального значения. Поэтому при установке пробок на отбалансированные валы дисбаланс в плоскостях уравновешивания увеличивается. Аналогичное явление наблюдается при ремонте коленчатых валов, когда пробки при разборке вала снимаются, а после его ремонта вновь устанавливаются. Это объясняется тем, что наличие  $m_j$  приводит к появлению в каждой шатунной шейке неуравновешенной массы:

$$M_j = \pm 2m_j r_0 r^{-1},$$

где  $r_0$  – расстояние от оси вращения коленчатого вала до центра пробки.

Неуравновешенные массы  $M_i$  вызывают дисбаланс в плоскостях маховика  $D_{mp}$  и шкива коленчатого вала  $D_{шп}$ . Выведены формулы, позволяющие определить значения указанных дисбалансов для двигателей V-8:

$$D_{mp} = 2r_0 \ell^{-1} \sqrt{(\pm m_1 \ell_1 \pm m_4 c)^2 + (\pm m_3 b \pm m_2 a)^2}$$

$$D_{\text{шр}} = 2r_0\ell^{-1}\sqrt{(\pm m_1 a_1 \pm m_4 \ell_3)^2 + (\pm m_3 c_1 \pm m_2 b_1)^2},$$

где  $a = \ell_1 + \ell_2; b = \ell_1 + 2\ell_2;$   
 $c = \ell_1 + 3\ell_2; a = 3\ell_2 + \ell_3;$   
 $b_1 = 2\ell_2 + \ell_3; c_1 = \ell_2 + \ell_3$

Максимальные значения  $D_{\text{мр}}$  и  $D_{\text{шр}}$  определяются по формулам:

$$D_{\text{мрmax}} = r_0 r^{-1} \kappa_{\text{м}} \delta m_i$$

и (12)

$$D_{\text{шрmax}} = r_0 r^{-1} \kappa_{\text{ш}} \delta m_i,$$

где  $\kappa_{\text{м}}$  и  $\kappa_{\text{ш}}$  для двигателей V-8 вычисляются по формулам:

$$K_{\text{м}} = 2,82 r \ell^{-1} (\ell_1 + 1,5 \ell_2)$$

и (13)

$$K_{\text{ш}} = 2,82 r \ell^{-1} (1,5 \ell_2 + \ell_3)$$

Таким образом, неточный расчет массы балансировочных грузов в плоскостях уравновешивания исследуемых двигате-

лей и дисбалансы 35,5-61г·см, соответственно, при сборке новых двигателей и замене стандартных поршней новой конструкции, при их эксплуатации или ремонте. Балансировка коленчатых валов при установке пробок грязесборников в шатунных шейках с использованием грузов, масса которых рассчитана по полученным формулам, уменьшает дисбаланс двигателя ЗМЗ-53, соответственно, на 41-144 г·см. Это снижает шум и вибрации двигателей на 2-7 дБ и повышает моторесурс на 10-30 %.

#### *Литература*

1. Таратуга А.И., Сверчков А.А. Прогрессивные методы ремонта машин // Минск: Ураджай. 1986. С. 373.
2. Абдухаликов К.М. Динамическая балансировка коленчатого вала // Автомобильный транспорт Казахстана. 1975. №1.