

Тулаев Б.Р., Салихов У.Ф.

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И БАЛАНСИРОВКА ДВИГАТЕЛЕЙ

При выполнении динамического расчета двигателя необходимо рассчитать и построить диаграммы следующих сил:

$$p'_r - S_x(V_x); p_r(\alpha); p_n(\alpha); p_1(\alpha); p_{ш}(\alpha); N(\alpha); T(\alpha); Z(\alpha);$$

векторные диаграммы сил, действующие на шатунные и коренные шейки и подшипники, а также диаграмму набегающего крутящего момента.

Для выполнения динамического расчета необходимо знать общие данные двигателя (тактность, число цилиндров, порядок работы и т.д.), а также величины [1]:

D или R ; S_p ; λ ; p_z ; p_c ; n_1 ; n_2 ; p_a ; p_B ; n ; ρ ; Ψ (для двухтактных двигателей); $m_{п.л}$; m_2 ; $m_{вр}$; p_k (для двигателей с наддувом).

Использование программ для ЭВМ позволяет как расчеты, так и построение диаграмм проводить с применением ЭВМ. На рис. 1 приведен фрагмент распечатки и построение диаграммы сил от давления газов по углу поворота коленчатого вала. На рис. 2 показана векторная диаграмма сил, действующих на первую шатунную шейку V-образного ($\gamma = 90^\circ$) восьмицилиндрового четырехтактного автомобильного дизеля со следующими параметрами:

$$D = 110 \text{ мм}; S = 115 \text{ мм}; L = 203 \text{ мм}; z = 0; n = 2000 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_1 = 1,37; n_2 = 1,178; \varepsilon = 17,3; p_a = 0,0975 \text{ МПа}; p_B = 0,107 \text{ МПа};$$

$$p_z = 9,41 \text{ МПа}; M_{п.д} = 2,229 \text{ кг}; M_{вр} = 1,386 \text{ кг}.$$

Фазовый угол между процессами в цилиндрах равен 90° . Аналогично рассчитывают и строят все остальные диаграммы динамического расчета.

Балансировка четырехтактного четырехцилиндрового рядного двигателя. Из условия равномерности чередования рабочих ходов $\delta = 720^\circ$; $\alpha = 180^\circ$.

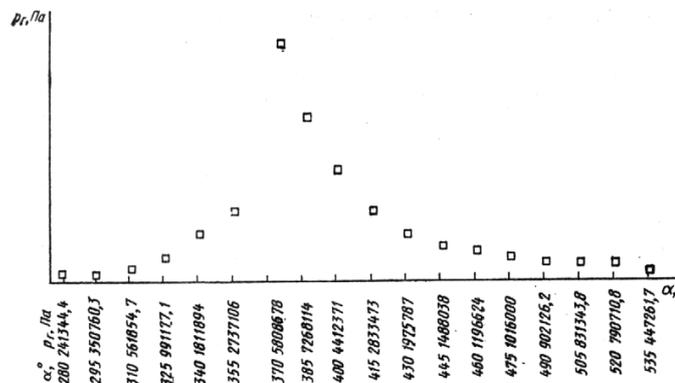


Рис. 1. Фрагмент распечатки диаграммы сил от давления газов

Коленчатый вал плоский. Порядок работы цилиндров: 1-3-4-2 или 1-2-4-3. Коленчатый вал зеркально симметричный, поэтому начало системы координат удобно выбрать на середине третьей коренной шейки. Из условий балансировки, очевидно, что

$$\sum P_{cx} = 0, \sum P_{и1x,y} = 0, \sum P_{и2x,y} = 0, \quad \sum M_{cx} = 0, \sum M_{1x,y} = 0, \sum M_{2x,y} = 0$$

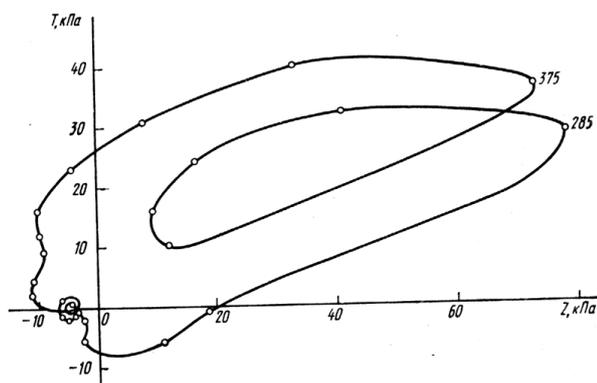


Рис. 2. Векторная диаграмма сил, действующих на первую шатунную шейку восьмицилиндрового V-образного дизеля

Распишем остальные условия балансировки

$$\begin{aligned} \sum P_{cy} &= m_{вп} R \omega^2 [\sin \alpha + \sin(180 + \alpha) + \sin(180 + \alpha) + \sin \alpha] = 0 \\ \sum P_{cz} &= m_{вп} R \omega^2 [\cos \alpha + \cos(180 + \alpha) + \cos(180 + \alpha) + \cos \alpha] = 0 \\ \sum P_{и1z} &= -m_{пд} R \omega^2 [\cos \alpha + \cos(180 + \alpha) + \cos(180 + \alpha) + \cos \alpha] = 0 \\ \sum P_{и2z} &= -m_{пд} R \omega^2 \lambda [\cos 2\alpha + \cos 2(180 + \alpha) + \cos 2(180 + \alpha) + \cos 2\alpha] \\ &= -4m_{пд} R \omega^2 \lambda \cos 2\alpha \end{aligned}$$

Таким образом, центробежные силы сбалансированы. Силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс первого порядка также сбалансированы, так как при $\cos \alpha > 0$ $P_{и1zI}$ и $P_{и1zIV}$.

Отрицательны, $P_{и1zII}$ и $P_{и1zIII}$ – положительны, т. е. они направлены попарно противоположно. При изменении знака сил $P_{и1zI}$ и $P_{и1zIV}$ также изменят знак силы $P_{и1zII}$ и $P_{и1zIII}$. Силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс второго порядка не сбалансированы и всегда направлены в одну сторону.

Максимальное значение суммарных сил инерции второго порядка в автомобильном двигателе с внешним смесеобразованием при $M_{п.д} = 0,72$ кг; $R = 46$ мм; $n = 5000$ мин⁻¹; $\lambda = 0,27$; $\sum P_{и2z} = 9,8$ кН.

Эта сила будет воздействовать на подвеску двигателя, и ее необходимо учитывать при проектировании силовой установки. Силу $\sum P_{и2z}$ можно сбалансировать, например, по методу Ланчестера с помощью противовесов на дополнительных валах, вращающихся с удвоенной частотой по отношению к частоте вращения коленчатого вала. Однако, несмотря на удорожание двигателя, иногда силу $\sum P_{и2z}$ балансируют для снятия вибрации двигателя на частоте ее действия. Эта методика позволяет автоматизировать расчет и построить векторных диаграмм, а также балансировку двигателя.

Список используемой литературы

1. Тулаев Б. Математическое моделирование процессов теплообмена в ДВС. Монография. – Ташкент: Adabiyot uchquni, 2018. – 176 с.