

Академик И. И. АРТОБОЛЕВСКИЙ

ДИНАМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ХОДА МАШИНЫ

1°. Теоретическое и экспериментальное исследование ряда рабочих машин показывает, что угловые скорости ведущих валов этих машин в период времени установившегося движения обладают значительными колебаниями, в большинстве случаев гораздо большими, чем у машин-двигателей.

В качестве критерия неравномерности хода машины обычно используется понятие о коэффициенте неравномерности хода машины δ , равном:

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где ω_{\max} , ω_{\min} и $\omega_{\text{ср}}$ — максимальная, минимальная и средняя угловые скорости ведущего вала машины в период времени установившегося движения.

Коэффициент δ имеет большое значение при динамическом расчете режима установившегося движения быстроходных двигателей, от которых требуется наилучшее приближение к некоторому стационарному режиму движения, очень близкому к равномерному. Для ряда рабочих машин такое требование является обязательным, так как механика технологического процесса, выполняемого этими машинами, не обуславливает целесообразности указанного режима движения. В таких рабочих машинах часто имеют место резкие изменения рабочих нагрузок в каждом цикле их движения, соответствующие рабочим и холостым ходам исполнительных механизмов. Эти изменения приводят к значительным колебаниям угловой скорости ведущего вала. Значительное выравнивание этих колебаний путем увеличения маховых масс, подсчитываемых через коэффициент неравномерности хода δ , может быть достигнуто только установкой весьма больших дополнительных маховых масс. Последнее практически редко выполняется, так как установка больших дополнительных масс в ряде рабочих машин является неконструктивным, например, в сельскохозяйственных нестационарных машинах, станках, текстильных машинах и т. д.

2°. В качестве критерия неравномерности хода машины может быть использован характеристический критерий режима движения машины (1), равный:

$$\kappa = 2 \frac{\dot{\omega}}{\omega^2}, \quad (2)$$

где $\dot{\omega} = d\omega/dt$ — угловое ускорение ведущего вала, а ω — угловая скорость ведущего вала.

Величина κ может быть также представлена в виде

$$\kappa = \frac{\dot{T}}{T} - \frac{\dot{I}_n}{I_n}, \quad (3)$$

где $T = T(\varphi)$ — кинетическая энергия машины; $I_n = I_n(\varphi)$ — приведенный момент инерции $\dot{T} = dT/d\varphi$; $\dot{I}_n = dI_n/d\varphi$; φ — угол поворота ведущего вала.

Пусть задана (рис. 1) кривая изменения угловой скорости ω в функции угла поворота φ ведущего звена, т. е. кривая $\omega = \omega(\varphi)$.

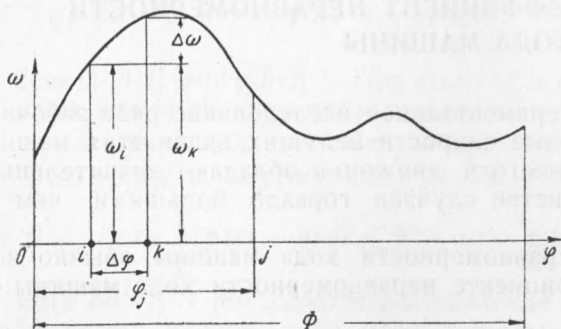


Рис. 1

Если рассматривать коэффициент неравномерности хода δ как величину переменную, изменяющуюся по углу поворота φ , то на любом малом угле поворота $\Delta\varphi = \varphi_k - \varphi_i$ (рис. 1) величина $\Delta\delta = \delta_k - \delta_i$ изменения коэффициента неравномерности хода будет равна:

$$\Delta\delta = \delta_k - \delta_i = \frac{\omega_k - \omega_i}{\omega_{cp}} = \frac{\Delta\omega}{\omega_{cp}}, \quad (4)$$

где ω_{cp} может быть принята как средняя планиметрическая, равная

$$\omega_{cp} = \frac{1}{\Delta\varphi} \int_{\varphi_i}^{\varphi_k} \omega d\varphi. \quad (5)$$

Таким образом, для любого интервала $\Delta\varphi$ угла поворота φ может быть определено свое значение коэффициента неравномерности хода, т. е. может быть получена зависимость коэффициента неравномерности хода от угла поворота.

3°. Если уравнение (4) написать в дифференциальной форме, то оно будет иметь вид:

$$d\delta = \frac{d\omega}{\omega}. \quad (6)$$

Из уравнения (2) следует, что

$$\kappa = 2 \frac{d\omega/d\varphi}{\omega^2} = 2 \frac{d\omega/\omega}{d\varphi}. \quad (7)$$

Тогда уравнение (6) примет вид:

$$d\delta = \frac{\kappa}{2} d\varphi.$$

Следовательно, для любого угла поворота φ_j , отсчитываемого от угла φ_0 , равного нулю, получим

$$\delta_j - \delta_0 = \frac{1}{2} \int_{\varphi_0}^{\varphi_j} x d\varphi, \quad (8)$$

где δ_0 — коэффициент неравномерности хода в положении, соответствующем углу φ_0 .

И, далее,

$$\delta_j = \frac{1}{2} \int_{\varphi_0}^{\varphi_j} x d\varphi + \delta_0. \quad (9)$$

Таким образом, если известна функция $x = x(\varphi)$ (рис. 2 а) и величина δ_0 , соответствующая углу φ , равному φ_0 , то графическим интегрированием определяем зависимость $\delta = \delta(\varphi)$ (рис. 2 б).

Величину δ , определяемую уравнением (8) или (9), назовем динамическим коэффициентом неравномерности хода машины.

Имея зависимость $\delta = \delta(\varphi)$, легко определить и среднее значение $\delta_{\text{ср}}$ динамического коэффициента неравномерности хода машины. В качестве среднего значения коэффициента $\delta_{\text{ср}}$ примем величину

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{1}{\Phi} \int_0^{\Phi} \delta d\varphi, \quad (10)$$

где Φ — полный угол поворота ведущего звена на исследуемом интервале движения (рис. 2 б). Величина $\delta_{\text{ср}}$, как это видно из уравнения (10), есть средняя планиметрическая динамического коэффициента неравномерности хода за полный угол Φ поворота ведущего звена.

4°. Если заданы функции $T = T(\varphi)$ и $I_n = I_n(\varphi)$, где T — кинетическая энергия машины и I_n — приведенный момент инерции, то величина коэффициента δ_j по уравнению (9) определяется из условия (3):

$$\delta_j = \frac{1}{2} \int_{\varphi_0}^{\varphi_j} \left(\frac{\dot{T}}{T} - \frac{\dot{I}_n}{I_n} \right) d\varphi + \delta_0. \quad (11)$$

Из уравнения (11) после несложных преобразований получаем

$$\delta_j = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{T_j}{T_0} \frac{I_{n0}}{I_{nj}} \right] + \delta_0, \quad (12)$$

где T_0 и I_{n0} — значения кинетической энергии и приведенного момента инерции для положения, соответствующего углу φ_0 .

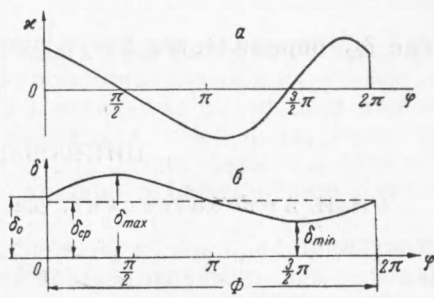


Рис. 2

Если известна тахограмма $\omega = \omega(\varphi)$, то коэффициент δ_j может быть определен из уравнения

$$\delta_j = \ln \left(\frac{\omega_j}{\omega_0} \right) + \delta_0, \quad (13)$$

где ω_0 — угловая скорость ведущего звена, соответствующая углу φ_0 .

Таким образом, в качестве критерия неравномерности хода машины может быть принята функция $\delta = \delta(\varphi)$ (рис. 2 б). На кривой, изображающей эту функцию, характерными точками будут точки, соответствующие максимальным и минимальным значениям динамического коэффициента неравномерности хода, т. е. значения δ_{\max} и δ_{\min} .

Усредненная оценка неравномерности хода может быть охарактеризована величиной ξ , равной:

$$\xi = \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{\delta_{\text{ср}}}, \quad (14)$$

где $\delta_{\text{ср}}$ определяется из уравнения (10).

Поступило
30 IX 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 И. И. Артоблевский, Изв. АН СССР, ОТН, № 12 (1952).