УДК 621.878.6

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЦИКЛОВОЙ МАШИНОЙ

О. В. ПУЗАНОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Математическую модель динамики цикловой машины удобно представить системой дифференциальных уравнений движения, с учетом динамической характеристики источника энергии,

$$\begin{cases} J(q)\ddot{q}+\dfrac{1}{2}J'(q)\dot{q}^2=Q+Q_c(q,\dot{q}); \\ \tau\dot{Q}+Q=F_{cm}(u,\dot{q}), \end{cases} \tag{1}$$

где q – обобщенная координата; $J(q)$ – инерционный коэффициент; F_{cm} – обобщенная движущая сила; Q_c – обобщенная сила сопротивления; Q – обобщенная движущая сила; τ – собственная постоянная времени, характеризующая инерционность процессов источника энергии; $u(t)$ – параметр управления двигателя. Неизвестными являются функции времени $q(t)$ и $Q(t)$.

Для решения использован метод последовательных приближений. Уравнение перехода от текущей к следующей итерации имеет вид

$$\begin{cases} J_0\ddot{q}^{(k)}-Q^{(k)}-Q_{c0}\left(\dot{q}^{(k)}\right)=-\tilde{J}\left(q^{(k-1)}\right)\ddot{q}^{(k-1)}-\dfrac{1}{2}J'\left(q^{(k-1)}\right)\left(\dot{q}^{(k-1)}\right)^2+\tilde{Q}_c\left(q^{(k-1)},\dot{q}^{(k-1)}\right); \\ \tau\dot{Q}^{(k)}+Q^{(k)}-F_{cm}\left(u_0,\dot{q}^{(k)}\right)=0; \quad k=0,1,2, \end{cases} \tag{2}$$

где k – номер приближения; тильда над параметром обозначает переменную составляющую этого параметра.

В нулевом приближении решение соответствует начальному значению $q^{(0)}=q_н$, $Q^{(0)}=Q_н$ при $u=u_н(t)$. С учетом этого система (2) преобразуется в (3):

$$\begin{cases} J_0\ddot{q}_н-Q_н-Q_{c0}(\dot{q}_н)=0; \\ \tau\dot{Q}+Q-F_{cm}(u_н,\dot{q}_н)=0. \end{cases} \tag{3}$$

В первом приближении решение отличается от начального на некоторые величины $q^{(1)}=q_н+\psi$ и $Q^{(1)}=Q_н+\mu$. Тогда в левой части уравнений остается следующее приближение, а в правой – предыдущее.

После преобразований и разложения нелинейных функций в ряд модель (3) представляется системой

$$\begin{cases} J_0\ddot{\psi}-\mu+\vartheta\psi=L_н(t); \\ \tau\dot{\mu}+\mu+s\psi F=r\Delta u, \end{cases} \tag{4}$$

где $L_н(t) = -J(q_н)\ddot{q}_н - \frac{1}{2}J'(q_н)\dot{q}_н^2 + \tilde{Q}_c(q_н, \dot{q}_н)$ – возмущающий момент; $\vartheta = -\frac{\partial Q_{c0}(\dot{q}_н)}{\partial \dot{q}}$; $s = -\frac{\partial Q_{cm}(u_н, \dot{q}_н)}{\partial \dot{q}}$; $r = -\frac{\partial Q_{cm}(u_н, \dot{q}_н)}{\partial u}$.

Система (4) решается в операторном виде:

$$\begin{cases}(J_0 p + \vartheta)\psi - \mu = L_н(t); \\ sp\psi + (\tau p + 1)\mu = r\Delta u.\end{cases} \tag{5}$$

Если машинный агрегат имеет отрицательную обратную связь с передаточной функцией $w_{oc}(p)$, то динамическая ошибка ψ определяется из выражения

$$\psi = \frac{\tau p + 1}{p(s+\vartheta)(\tau_м \tau p^2 + \tau_м p + 1) + r w_{oc}(p)} L_н, \tag{6}$$

где $\tau_м = \frac{J_0}{s+\vartheta}$.

Если у системы имеется статическое возмущение, то ошибка вычисляется в пределе

$$\psi = \lim_{t\to\infty}\psi(t) = \frac{L_н}{r w_{oc}(0)}. \tag{7}$$

Ошибка зависит от вида регулятора, находящегося в цепи обратной связи. Если установлен позиционный пропорциональный регулятор с передаточной функцией $w_{oc}(p) = a_1$, то ошибка $\psi = \frac{L_н}{r a_1}$. Если в цепи обратной связи установлен дифференциальный регулятор $w_{oc}(p) = a_2 p$, то ошибка $\psi \to \infty$. Это говорит, что система будет неустойчивой. Если установлен интегрирующий регулятор $w_{oc}(p) = \frac{a_3}{p}$, то $\psi \to 0$. Это значит, что система астатична, но при этом время переходных процессов увеличивается.

При динамическом возмущении колебательного характера $L_н(t) = L_0 \sin(\omega t)$ в системе без обратной связи динамическая ошибка тоже будет гармонической $\psi_н(t) = A_0 \sin(\omega t + \delta)$.

Для оценки эффективности обратной связи можно использовать отношение операторов ошибки с обратной связью и без нее или соотношение амплитуд динамических ошибок систем с обратной связью и без нее. Оценить эффективность системы можно также с помощью амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой и замкнутой систем. Можно построить их пересечение на комплексной плоскости.

Описанная методика использовалась для оценки эффективности управления пресс-автоматом. Определен уровень динамической ошибки по углу поворота и скорости. Для улучшения динамики рекомендовано увеличивать крутизну характеристики среднего момента сопротивления.