УДК 621.313

М.М Кукчаев, Ж.О. Кулуев, А.М.Молоева
К.т.н. ОшТУ, ст.преп. ОшТУ,преп.ОшТУ
M.M.Kukchaev, J.O.Kuluev, A.M.Moloeva
C.t.s. OshTU, senior teacher OshTU, teacher OshTU

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРФОРАТОРА ИЗ УСЛОВИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ХОДА

Приведено математическое описание момента инерции электромеханического перфоратора при условии неравномерности хода.

Ключевые слова: инерция, электромеханика, перфоратор, двигатель, амплитуда, колебания.

DETERMINATION OF THE MOMENT OF INERTIA OF THE ELECTROMECHANICAL PUNCH FROM THE CONDITION OF UNEVEN PROGRESS

The mathematical description of the moment of inertia of the electromechanical punch provided the uneven progress.

Keywords: inertia, electrician, hammer, the motor, the amplitude of oscillation.

В электромеханических перфораторах с механизмом переменной структуры скорость привода изменяется с изменением нагрузки, так как они оборудованы универсальными коллекторными двигателями последовательного возбуждения. Для качественного проведения технологических процессов требуется ограничить изменения (колебания) скорости. При разных законах изменения внешних нагрузок это ограничение осуществляется по-разному. В случае непериодических (в том числе и случайных) внешних нагрузок скорость (с некоторой степенью точности) поддерживается постоянной установкой дополнительных систем — система автоматического регулирования.

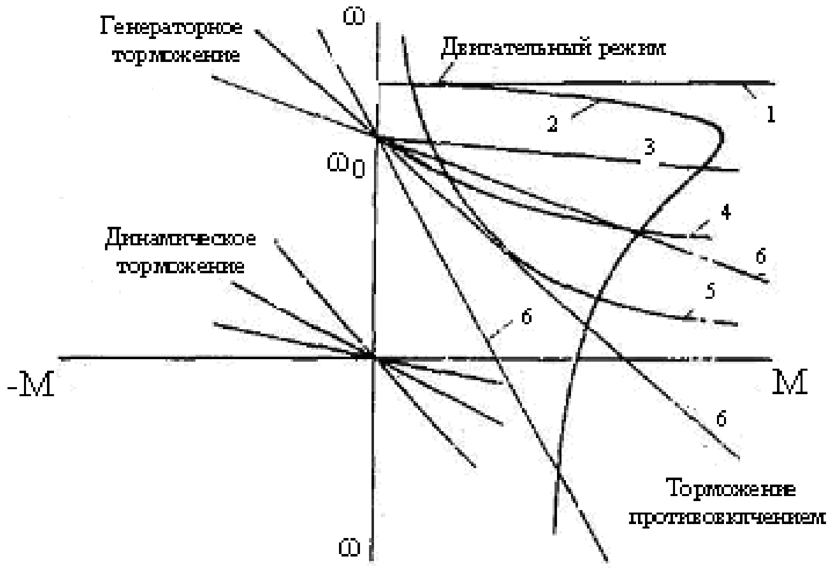

Рис. 1. Примерные механические характеристики электрических двигателей.

При периодических внешних нагрузках диапазон изменения скорости регулируется установкой дополнительных масс (маховиков) такой величины, при которой амплитуда колебаний скорости не выходит за пределы допустимого значения. Как правило, допустимый диапазон изменения скорости задается коэффициентом неравномерности хода

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{cp}} \le [\delta] \qquad (1)$$

где $\omega_{\max}$ и $\omega_{\min}$ — соответственно максимальная и минимальная скорости звена приведения за цикл работы машины; [δ] — допускаемый коэффициент неравномерности хода.

Средняя скорость за цикл определяется из следующих выражений:

а) в случае симметричного изменения скорости

$$\omega_{cp} = \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2} \qquad (2)$$

б) в случае несимметричного изменения скорости

$$\omega_{cp} = \frac{\int_{\alpha}^{\alpha+T} \omega(\varphi) d\varphi}{T} \qquad (3)$$

где T — период изменения скорости в *рад;* φ – угол поворота звена [3].

Очевидно, что при симметричном изменении скорости внутри цикла равенства (2) и (3) идентичны. Следует отметить, что, если коэффициент неравномерности хода мал, значения средних скоростей, вычисленных по последним двум формулам, незначительно отличаются друг от друга. При расчетах для упрощения чаще всего используют формулу (2).

В данной работе рассматриваем вопрос определения момента инерции маховика, обеспечивающего заданную неравномерность хода электромеханического перфоратора с МПС, оборудованного универсальным коллекторным двигателем.

При рассмотрении поставленной задачи различаем такие случаи:

1. Интегралы в выражении

$$\frac{\omega(\varphi) \to \omega_{\infty}(\varphi)}{\varphi \to \infty} = \sqrt{-2e^{-2\int_0^{\varphi} f(\varphi)d\varphi} \int_0^{\varphi} g(\varphi) e^{2\int_0^{\varphi} f(\varphi)d\varphi} d\varphi} \qquad (4)$$

записываются в виде конечной комбинации элементарных или специальных функций, а также находятся в общем виде значения максимальной $\omega_{\infty\max}$ и минимальной $\omega_{\infty\min}$ скоростей. Подставляя значение $\omega_{\infty\max}$ и $\omega_{\infty\min}$ в (1), получаем уравнение, из которого момент инерции электромеханической системы определяется либо непосредственно в общем виде, либо численным решением полученного трансцендентного уравнения для частного случая.

Общий момент инерции машины записывают так:

$$I(\varphi) = I_0 + I_{мах} + I_{мех}(\varphi), \qquad (5)$$

где I_0 — момент инерции ротора двигателя; $I_{мах}$ и $I_{мех}$ (φ) – соответственно приведенные моменты инерции маховика и исполнительного механизма.

Так как I (φ) при φ, соответствующих экстремумам угловой скорости, получает конкретные значения, то уравнения (1) и (5) дают возможность определить величину момента инерции маховика $I_{мах}$.

2.Интегралы в выражении (4) записываются в виде конечной комбинации элементарных или специальных функций, но экстремальные значения скоростей в общем виде нельзя найти. При этом задача решается методом последовательных приближений для конкретного случая нагружения и для конкретного типа двигателя. Принимая I, строим график ω_{∞} (φ) и проверяем, выполняется ли при таком I неравенство (1). Если оно не удовлетворяется или удовлетворяется с большим запасом, то ищем решение во втором приближении.

2. Интегралы в (4) вообще не выражаются конечной комбинацией известных функций. В этом случае момент инерции маховика определяется, как в п. 2, но график $\omega_\infty(\varphi)$ следует строить, вычисляя определенный интеграл приближенно. Очевидно, для решения поставленной задачи (как и в п. 2) достаточно построить график $\omega_\infty(\Psi)$ для одного периода.

Если момент инерции маховика определяют из условия неравномерности хода при неустановившемся движении, то задачу решают аналогично, но в равенство (1) подставляют первые два экстремума скорости $\omega(\varphi)$, вычисленной по выражению

$$\omega(\varphi) = \sqrt{e^{-2\int_0^\varphi f(\varphi)d\varphi}\left[\omega^2(0) - 2\int_0^\varphi g(\varphi) e^{2\int_0^\varphi f(\varphi)d\varphi} d\varphi\right]} \qquad (6)$$

Если приведенный момент инерции электромеханической системы принять постоянной

$$I = I_0 + I_{мах} + I_{мех} = const\,, \qquad (7)$$

а момент сопротивления выражается равенством

$$M_c(\varphi) = M_1 + M_2 \sin(k\varphi + \alpha) \qquad (8)$$

где k – частота изменения момента инерции за один цикл движения,

То угловая скорость звена приведения при установившемся движении может быть определена по формуле

$$\frac{\omega(\varphi) \to \omega_\infty(\varphi)}{\varphi \to \infty} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1} + \frac{2D_3}{4D_1^2 + k^2}[k\cos(k\varphi + \alpha) - 2D_1 \sin(k\varphi + \alpha)]} \qquad (9)$$

где D_1, D_2 и D_3 определяются по

$$D_1 = \frac{M_m}{I\left(\omega_0^2 - \omega_m^2\right)}; D_2 = \frac{M_m\omega_0^2}{I\left(\omega_0^2 - \omega_m^2\right)} - \frac{M_1}{I}; D_2 = \frac{M_2}{I}. \qquad (10)$$

причем $\sqrt{D_2/D_1} = \omega_y$ - скорость, вокруг которой происходят ее колебания при установившемся режиме; M_m – максимальный момент [1].

Дифференцируя (9) по φ и приравнивая результат к нулю, получаем тригонометрическое уравнение

$$tg(k\varphi^* + \alpha) = -\frac{2D_1}{k},$$

позволяющее найти углы φ^*, соответствующие $\omega_{\infty max}$ и $\omega_{\infty min}$. После решения предыдущего уравнения определяем, что функция $\omega_\infty(\varphi)$ достигает экстремумов при таких значениях тригонометрических функций, которые входят в выражение (9):

$$\sin(k\varphi^* + \alpha) = \pm\frac{2D_1}{\sqrt{k^2 + 4D_1^2}}; \cos(k\varphi^* + \alpha) = \mp\frac{k}{\sqrt{k^2 + 4D_1^2}} \qquad (11)$$

Так как $\omega_\infty(\varphi)$ достигает максимума при $\frac{3}{2}\pi < k\varphi + \alpha < 2\pi$, а минимума при $\frac{\pi}{2} < k\varphi + \alpha < \pi$, то, подставляя $\sin(k\varphi^* + \alpha)$ и $\cos(k\varphi^* + \alpha)$ из (11) с соответствующими знаками в уравнение (9), для экстремальных значений скоростей $\omega_{\infty max}$ и $\omega_{\infty min}$ получаем такие равенства

$$\omega_{\substack{\infty\max\\\infty\min}} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1} \pm \frac{2D_3}{\sqrt{4D_1^2 + k^2}}} \qquad (12)$$

После подстановки $\omega_{\infty max}$ и $\omega_{\infty min}$ в (1) и учета (10) и (7) приходим к такому выражению для определения полного момента инерции *I* машины, необходимого для поддержания заданной неравномерности хода [δ]:

$$I \geq \frac{C_1}{2C_2 k[\delta]} \sqrt{M_2^2 \left(4 + [\delta]^2\right)^2 - 16 C_2 [\delta]^2}\,, \qquad (13)$$

где $C_1 = \dfrac{M_m}{\omega_0^2 - \omega_m^2}; C_2 = \dfrac{M_m \omega_0^2 - M_1\left(\omega_0^2 - \omega_m^2\right)}{\omega_0^2 - \omega_m^2}$ (13а).

Почти во всех практически важных случаях [δ]<<1. Поэтому $[\delta]^2$<<4, формулу (13) можно переписать в приближенном виде

$$I \geq \frac{2C_1}{C_2 k[\delta]} \sqrt{M_2^2 - C_2^2 [\delta]^2}\,. \qquad (14)$$

Расчет маховика по заданной неравномерности хода [δ] электромеханической системы производится для установившегося режима, в результате чего энергетические основы этого режима выполняются.

Таким образом, рассмотрено математическое описание момента инерции маховика, обеспечивающего заданную неравномерность хода электромеханического перфоратора с МПС, оборудованного универсальным коллекторным двигателем.

Литература:

1. В.Ф. Столярчук, Н.Ф. Рачинец, Б.М. Гладьо. Исследование движения и динамики машин, оборудованных электроприводом. Львов, 1972.
2. В.П. Андреев, Ю.А. Сабинин. Основы электропривода. Госэнергоиздат, М. – Л., 1963.
3. Р.Л. Аронов. Динамика электропривода с переменной приведенной массой. «Электричество», 1947.