

УДК 62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ЕГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА



DETERMINATION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF ELECTRIC ACTUATORS AT LARGE DISPLACEMENTS OF ITS ACTUATING BODY

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Кушнаренко Андрей Петрович

аспирант
института энергетики и теплотехники,
Кубанский государственный
технологический университет
energodraiv@yandex.ru

Аннотация. В работе получены аналитические зависимости координат электропривода от времени при больших перемещениях его исполнительного органа. Показано какую диаграмму потребляемой якорной цепью электропривода мощности должен обеспечить электромеханический источник бесперебойного питания.

Ключевые слова: энергетические характеристики электропривода, большие перемещения исполнительного органа электропривода, электромеханический источник бесперебойного питания.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Kushnarenko Andrei Petrovich

Postgraduate Student,
Institute of Power Engineering and
Thermal Engineering,
Kuban State Technological University
energodraiv@yandex.ru

Annotation. The paper obtained analytical dependences of the actuator coordinates on time at large displacements of its actuator. It is shown what diagram of power consumed by the anchor circuit of the actuator should provide an electromechanical source of uninterrupted power supply.

Keywords: energy characteristics of the actuator, large movements of the actuator's executive body, electromechanical uninterruptible power supply.

В данной работе разработана методика расчета мощности и потребляемой электроэнергии электроприводом при отработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. При этом не учитывается влияние индуктивности якорной цепи электропривода.

На рисунке 1 представлены механические координаты электропривода при отработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. На рисунке приняты следующие обозначения:

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

t – время, с;

$\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\omega_{\text{доп}}$ – допустимое значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega_{\max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\min}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

t_1 – длительность первого этапа, с;

t_2 – длительность второго этапа, с;

t_3 – длительность третьего этапа, с.

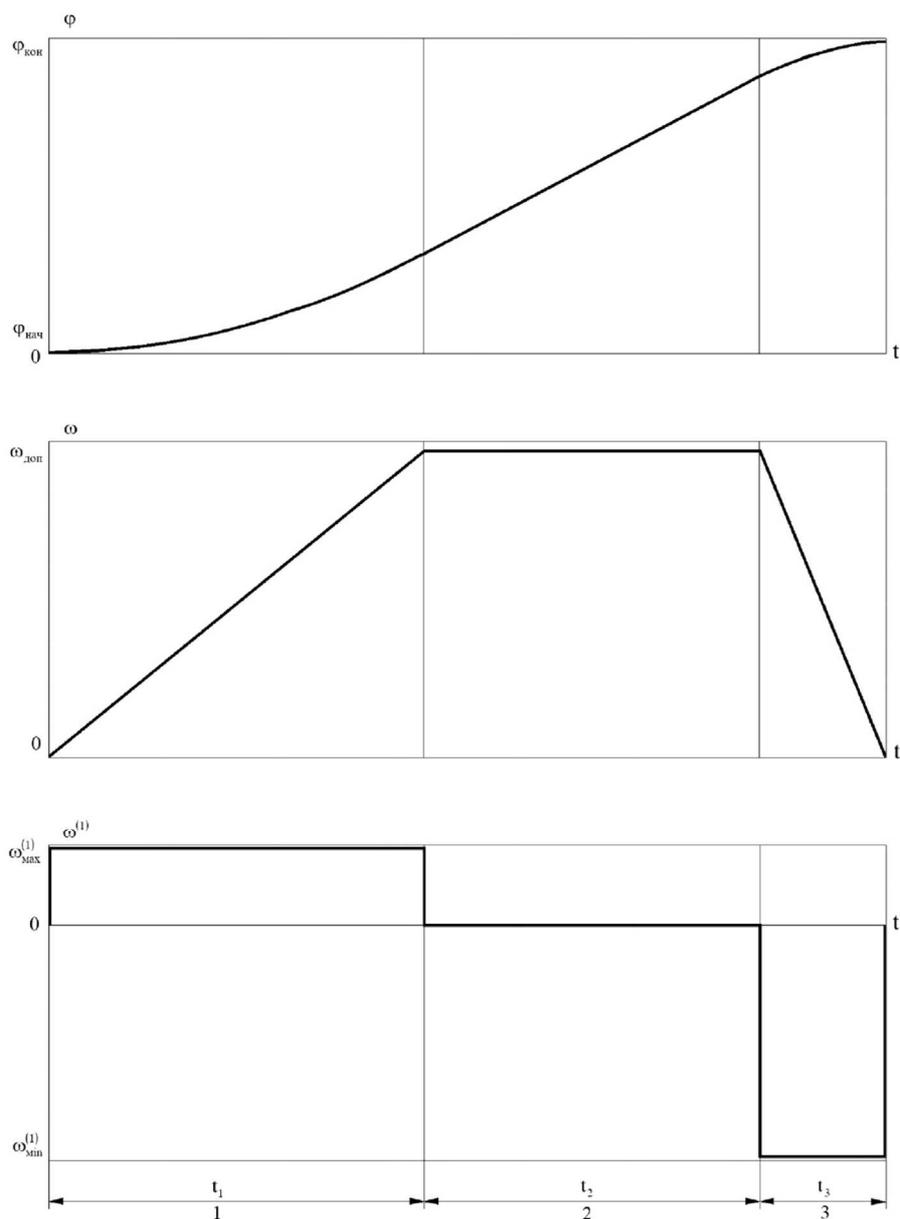


Рисунок 1 – Механические координаты электропривода при обработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой

На рисунке 2 представлены электрические координаты электропривода при обработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. На рисунке приняты следующие обозначения:

U – напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, В;

- $I_{я}$ – ток якорной цепи электропривода, А;
 $U_{доп}$ – допустимое значение напряжения, приложенного к якорной цепи электропривода, В;
 $I_{доп}$ – допустимое значение тока якорной цепи электропривода, А;
 $R_{я}$ – сопротивление якорной цепи электропривода, Ом;
 C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом двигателя, В·с;
 $M_{со}$ – момент сопротивления электропривода, Н·м.

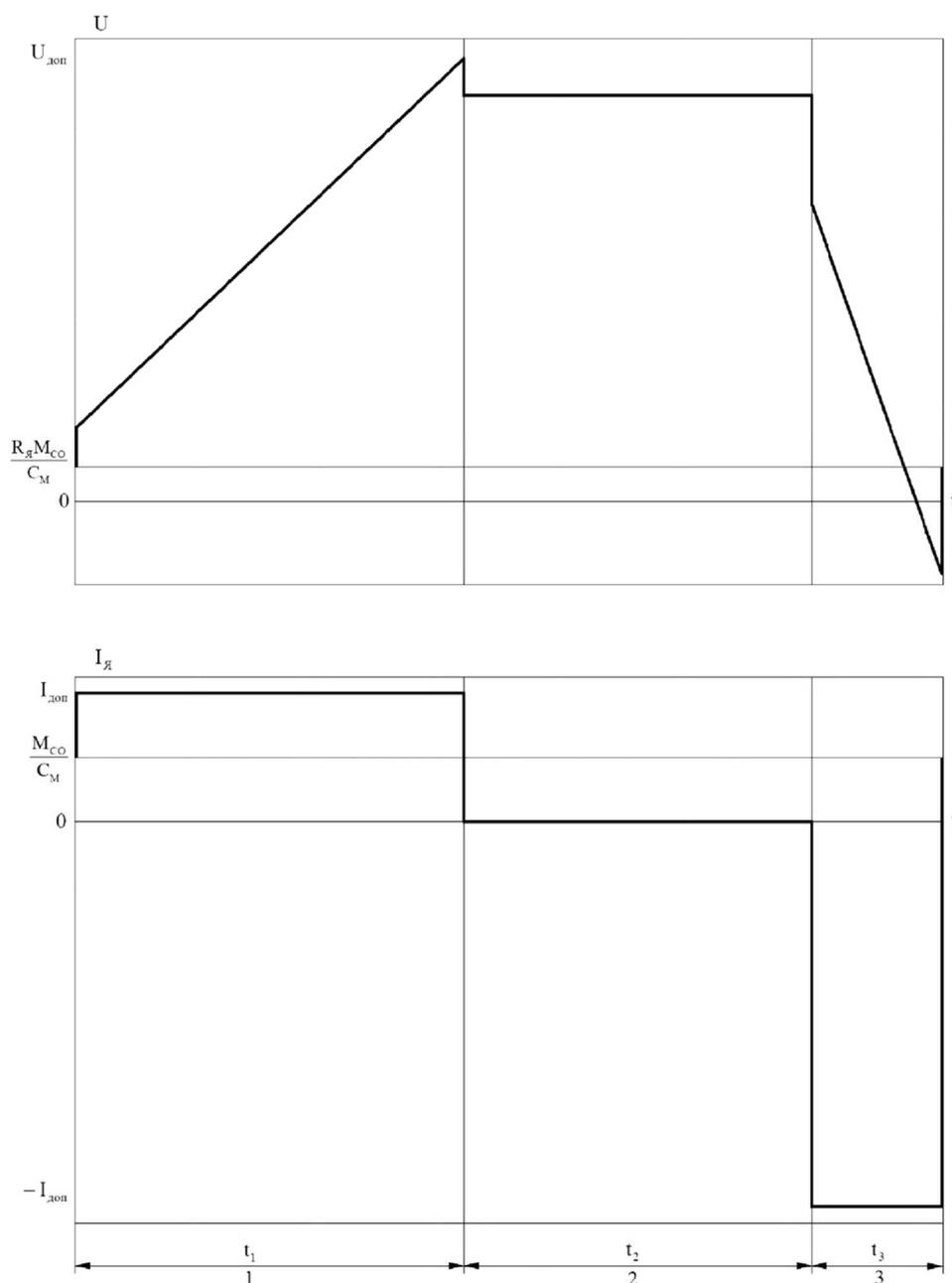


Рисунок 2 – Электрические координаты электропривода при обработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой

Для оптимальной по быстродействию диаграммы при больших перемещениях исполнительного органа электропривода справедливы уравнения:

$$C_M I_{доп} = M_{со} + J \omega_{max}^{(1)};$$

$$-C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{CO}} + J\omega_{\text{min}}^{(1)};$$

$$\omega_{\text{доп}} = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{\text{доп}} = -\omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot t_3;$$

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \omega_{\text{доп}} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1 + t_2 + \frac{1}{2} t_3 \right);$$

$$T_{\text{Ц}} = t_1 + t_2 + t_3.$$

где J – момент инерции исполнительного органа электропривода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $T_{\text{Ц}}$ – длительность цикла, с.

Для параметров оптимальной по быстродействию диаграммы при больших перемещениях исполнительного органа электропривода справедливы следующие зависимости:

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J};$$

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J};$$

$$t_1 = \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}};$$

$$t_3 = \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}};$$

$$t_2 = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}};$$

$$T_{\text{Ц}} = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}.$$

Если $t_2 = 0$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр}}$.

Граничное значение угла поворота:

$$\varphi_{\text{гр}} = \frac{C_M I_{\text{доп}} J \omega_{\text{доп}}^2}{C_M^2 I_{\text{доп}}^2 - M_{\text{CO}}^2}.$$

Напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, без учета влияния индуктивности якорной цепи определяется из уравнения:

$$U(t) = C_e \omega(t) + R_{\text{я}} i_{\text{я}}(t),$$

где C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа и ЭДС электропривода, $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$.

Определим аналитические зависимости координат электропривода от времени при больших перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой.

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$:

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\text{max}}^{(1)};$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t^2;$$

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U(t) = C_{\text{е}} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t + \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}]$$

При $t = 0$

$$\omega_0^{(1)} = 0;$$

$$\omega_0 = 0;$$

$$\varphi_0 = \varphi_{\text{нач}};$$

$$I_{\text{я}0} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_{\text{М}}};$$

$$U_0 = \frac{R_{\text{я}} M_{\text{CO}}}{C_{\text{М}}}.$$

При $t = 0_+$

$$\omega_{0+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(1)};$$

$$\omega_{0+} = 0;$$

$$\varphi_{0+} = \varphi_{\text{нач}};$$

$$I_{\text{я}0+} = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U_{0+} = \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}]$$

При $t = t_1$

$$\omega_1^{(1)} = \omega_{\max}^{(1)};$$

$$\omega_1 = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_1 = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1^2;$$

$$I_{\text{я}1} = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U_1 = C_{\text{е}} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}]$$

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$:

$$\omega^{(1)}(t) = 0;$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1^2 + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1);$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}};$$

$$U(t) = C_e \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}}.$$

При $t = t_{1+}$

$$\omega_{1+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{1+} = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_{1+} = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1^2;$$

$$I_{\text{Я}1+} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}};$$

$$U_{1+} = C_e \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}}.$$

При $t = (t_1 + t_2)$

$$\omega_2^{(1)} = 0;$$

$$\omega_2 = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_2 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$I_{\text{Я}2} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}};$$

$$U_2 = C_e \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}}.$$

Этап 3. В интервале времени $(t_1 + t_2) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_3)$:

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\text{min}}^{(1)};$$

$$\omega(t) = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2);$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{1}{2} \omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2)^2;$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{M}}} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{min}}^{(1)} \right];$$

$$U(t) = C_e \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + C_e \omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{R_{\text{Я}}}{C_{\text{M}}} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{min}}^{(1)} \right].$$

При $t = (t_1 + t_2)_+$

$$\omega_{2+}^{(1)} = \omega_{\text{min}}^{(1)};$$

$$\omega_{2+} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_{2+} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$I_{\text{Я}2+} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right];$$

$$U_{2+} = C_e \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right].$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3)$

$$\omega_3^{(1)} = \omega_{\min}^{(1)};$$

$$\omega_3 = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3;$$

$$\varphi_3 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2;$$

$$I_{\text{Я}3} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right];$$

$$U_3 = C_e \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3 \right] + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right].$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3)_+$

$$\omega_{3+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{3+} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3;$$

$$\varphi_{3+} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2;$$

$$I_{\text{Я}3+} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_M};$$

$$U_{3+} = C_e \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3 \right] + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_M}.$$

Определим энергетические характеристики электропривода при больших перемещениях его исполнительного органа.

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$:

$$P(t) = \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left[M_{\text{CO}} \cdot t + J \omega_{\max}^{(1)} \cdot t \right] + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot \left\{ M_{\text{CO}}^2 + 2 M_{\text{CO}} J \omega_{\max}^{(1)} + J^2 \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \right]^2 \right\};$$

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{\text{CO}} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \right]^2 \cdot t_1^2 + \\ + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}}^2 \cdot t_1 + 2 \cdot \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}} J \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \right]^2 \cdot t_1,$$

где P – мощность, потребляемая якорной цепью электропривода, Вт; W_1 – энергия, потребляемая якорной цепью электропривода на первом этапе, Дж.

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$:

$$P(t) = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2;$$

$$W_2 = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 t_2 + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2 \cdot t_2,$$

где W_2 – энергия, потребляемая якорной цепью электропривода на втором этапе, Дж.

Этап 3. В интервале времени $(t_1 + t_2) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_3)$:

$$P(t) = \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(1)} \cdot [M_{CO} \cdot t_1 + J \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1] + \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\min}^{(1)} \cdot [M_{CO} \cdot (t - t_1 - t_2) + J \omega_{\min}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2)] + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot \left\{ M_{CO}^2 + 2M_{CO} J \omega_{\min}^{(1)} + J^2 \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \right\};$$

$$W_3 = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 t_3 + \frac{C_e}{C_M} \cdot J \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3^2 + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2 \cdot t_3 + 2 \cdot \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO} J \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3 + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3,$$

где W_3 – энергия, потребляемая якорной цепью электропривода на третьем этапе, Дж.

Энергия, потребляемая якорной цепью электропривода за цикл, равна

$$W = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2 \right] + \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_3 + \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3^2 \right\} + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2 \cdot (t_1 + t_2 + t_3) + 2 \cdot \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO} J \cdot [\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3] + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot \left\{ [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1 + [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3 \right\}.$$

Так как

$$\left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2 \right] = (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}});$$

$$\left\{ \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_3 + \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3^2 \right\} = \left[\frac{1}{2} \omega_{\text{доп}}^2 - \omega_{\text{доп}}^2 + \frac{1}{2} \omega_{\text{доп}}^{(2)} \right] = 0;$$

$$(t_1 + t_2 + t_3) = T_{Ц};$$

$$\left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3 \right] = (\omega_{\text{доп}} - \omega_{\text{доп}}) = 0;$$

$$\left\{ [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1 + [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3 \right\} = [\omega_{\text{доп}} \omega_{\max}^{(1)} - \omega_{\text{доп}} \omega_{\min}^{(1)}] =$$

$$= \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{CO}}{J} + \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{CO}}{J} \right] = 2 \omega_{\text{доп}} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}}}{J}, \text{ то}$$

$$W = \frac{C_e}{C_M} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot M_{CO} + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2 T_{Ц} + 2 \cdot \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot J \omega_{\text{доп}} I_{\text{доп}}.$$

В данной работе рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры: $C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; $C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}$; $R_{Я} = 5 \text{ Ом}$, $J = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. На контролируемые координаты электропривода наложены ограничения: $U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$; $I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}$;

$\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Момент сопротивления электропривода равен $M_{\text{CO}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Начальное значение угла поворота равно $\varphi_{\text{нач}} = 0 \text{ рад}$.

При этом граничное значение угла поворота исполнительного органа электропривода равно $\varphi_{\text{гр}} = 170 \frac{2}{3} \text{ рад}$.

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 170 \frac{2}{3} \text{ рад}$, то

$$t_1 = 1,6 \text{ с}; t_2 = 0 \text{ с}; t_3 = \frac{8}{15} \text{ с}; T_{\text{Ц}} = 2 \frac{2}{15} \text{ с}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 400 \text{ рад}$, то

$$t_1 = 1,6 \text{ с}; t_2 = 1 \frac{13}{30} \text{ с}; t_3 = \frac{8}{15} \text{ с}; T_{\text{Ц}} = 3 \frac{17}{30} \text{ с}.$$

В таблице 1 представлены результаты численного эксперимента рассматриваемого электропривода: определены значения длительности первого этапа t_1 , первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(1)}$, угловой скорости исполнительного органа электропривода ω , угла поворота исполнительного органа электропривода φ , тока якорной цепи электропривода $I_{\text{я}}$, напряжения U и мощности P в начале и в конце каждого этапа при перемещении (повороте) исполнительного органа электропривода равного $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 400 \text{ рад}$. При этом якорная цепь электропривода потребила $2797 \frac{1}{3} \text{ Дж}$ (2000 Дж полезной энергии и $797 \frac{1}{3} \text{ Дж}$ энергии потерь).

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

$t_1, \text{ с}$	$\omega^{(1)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\varphi_1, \text{ рад}$	$I_{\text{я}}, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$P, \text{ Вт}$
0	0	0	$\varphi_{\text{нач}} + 0$	4	20	80
0	100	0	$\varphi_{\text{нач}} + 0$	8	40	320
1,6	100	160	$\varphi_{\text{нач}} + 128$	8	240	1920
1,6 +	0	160	$\varphi_{\text{нач}} + 128$	4	220	880
$3 \frac{17}{30}$	0	160	$\varphi_{\text{нач}} + 357 \frac{1}{3}$	4	220	880
$3 \frac{17}{30}$	-300	160	$\varphi_{\text{нач}} + 357 \frac{1}{3}$	-8	160	-1280
$3 \frac{17}{30}$	-300	0	$\varphi_{\text{нач}} + 400$	-8	-40	320
$3 \frac{17}{30}$	0	0	$\varphi_{\text{нач}} + 400$	4	20	80

На рисунке 3 представлена диаграмма потребляемой якорной цепью электропривода мощности при обработке в соответствии с оптимальной по быстрдействию диаграммой большого перемещения (поворота) исполнительного органа электропривода $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 400 \text{ рад}$.

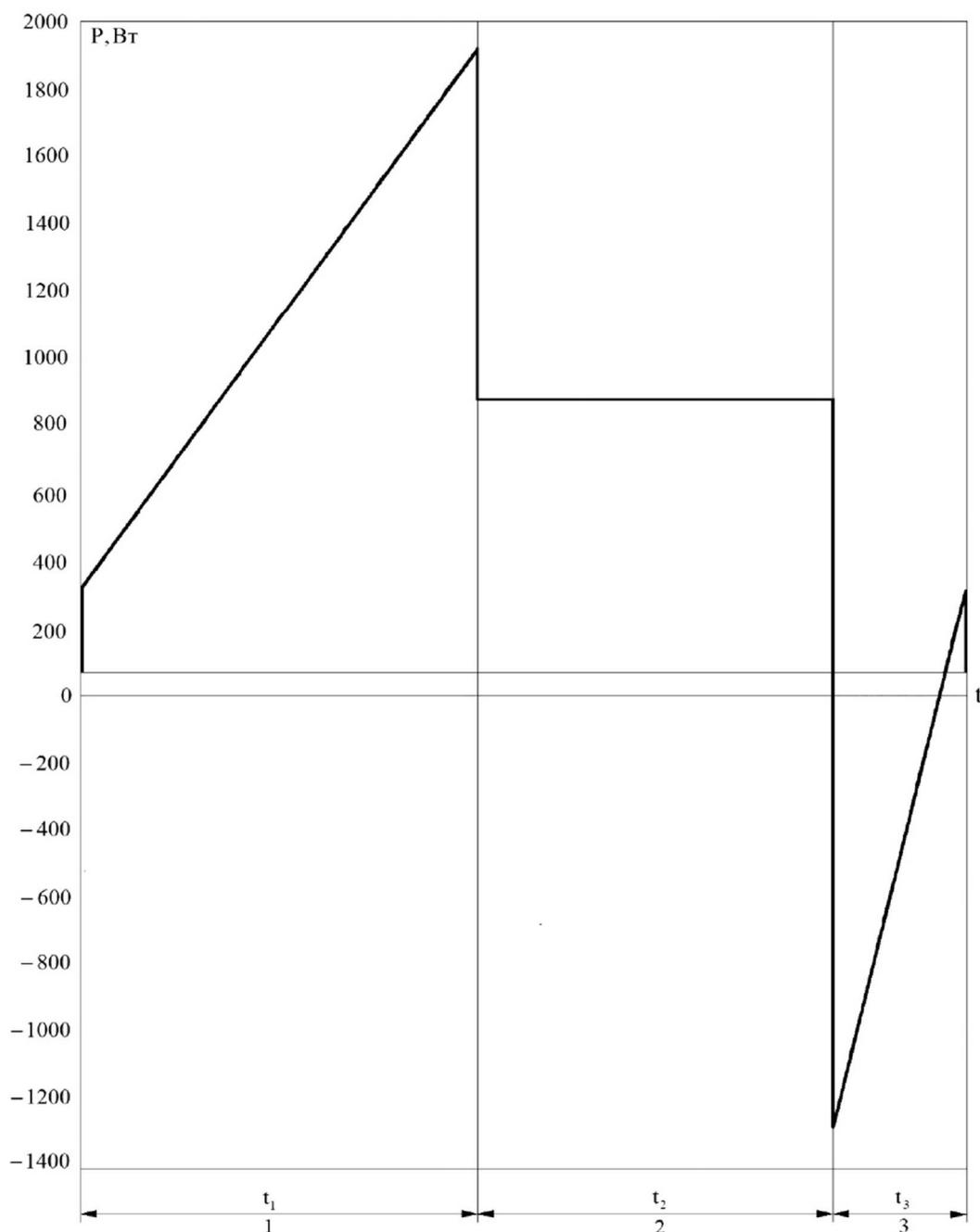


Рисунок 3 – Диаграмма потребляемой якорной цепью электропривода мощности при отработке в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой большого перемещения (поворота) исполнительного органа электропривода ($\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}} = 400$ рад)

Выводы

Получены аналитические зависимости координат электропривода от времени при больших перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой.

Определена зависимость потребляемой якорной цепью электропривода мощности от времени при больших перемещениях исполнительного органа электропривода.

Электромеханический источник бесперебойного питания должен обеспечить реализацию требуемой диаграммы потребляемой якорной цепью электропривода мощности.

Так как данные исследования выполнены без учета влияния индуктивности якорной цепи электропривода, то в дальнейшем необходимо провести исследования с учетом влияния индуктивности якорной цепи электропривода.