

УДК 62.83.52:62.503.56

UDC62.83.52:62.503.56

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА С МОМЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКОРОСТИ В ВИДЕ ПОЛИНОМА ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ, И УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ

DEVELOPMENT OF RATIONAL OPERATION OF POSITIONAL DC ELECTRIC DRIVE WITH RESISTING MOMENT, DEPENDING ON SPEED AS A POLYNOMIAL FIRST DEGREE, AND ELASTIC SHAFTING

Добробаба Юрий Петрович
к.т.н., профессор

Dobrobaba Yuri Petrovitch
Cand.Tech.Sci., professor

Кравченко Артем Владимирович
студент

Kravchenko Artyom Vladimirovich
student

Волошенко Наталья Анатольевна
студентка
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Voloshenko Natalya Anatolievna
student
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Предложено рациональное управление позиционным электроприводом постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом. Определены и построены зависимости длительности цикла и потребляемой электроэнергии от заданного перемещения

The article proposes a rational operation for positional DC electric drive with resisting moment, depending on speed as a polynomial of first degree, and elastic shafting. Ratio between cycle duration and electric power consumption has been identified depending on specified moves

Ключевые слова: ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН, ПОЗИЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Keywords: OPTIMUM SPEED OF DIAGRAMS ELECTRIC DRIVE ACTUATOR, POSITIONAL ELECTRIC DRIVE

В настоящее время позиционные электроприводы в основном осуществляют перемещение исполнительных органов промышленных механизмов по оптимальным по быстродействию диаграммам [1, 2]. Авторы статьи [3] предлагают обеспечивать максимальное быстродействие на самом узком участке технологической линии (с наибольшей длительностью цикла перемещения), а на всех остальных участках технологической линии осуществлять перемещение исполнительных органов с меньшей интенсивностью (за время равное длительности цикла перемещения на самом узком участке технологической линии). При этом электрический привод обеспечивает перемещение исполнительных органов всех остальных механизмов не за минимально возможное время, с большим потреблением электроэнергии из сети, а за время равное длительности цикла перемещения на самом узком участке технологической линии с меньшим потреблением

электрической энергии из сети. Такое управление названо рациональным (экономически целесообразным) [3].

В статье [3] разработано рациональное управление позиционным электроприводом постоянного тока с постоянным моментом сопротивления.

В статье [4] разработано рациональное управление позиционным электроприводом постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени.

В статье [5] разработано рациональное управление позиционным электроприводом постоянного тока с постоянным моментом сопротивления и упругим валопроводом.

Данная работа посвящена разработке рационального управления позиционным электроприводом постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом.

Математическая модель силовой части позиционного электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом имеет вид [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} U(t) &= C_e \cdot \omega_1(t) + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}(t); \\ C_m \cdot I_{\text{я}}(t) &= M_y(t) + J_1 \cdot \omega_1^{(1)}(t); \\ M_y(t) &= M_{c0} + K_c \cdot \omega_2(t) + J_2 \cdot \omega_2^{(1)}(t); \\ M_y(t) &= C_y \cdot [\varphi_1(t) - \varphi_2(t)]; \\ \varphi_1^{(1)}(t) &= \omega_1(t); \\ \varphi_2^{(1)}(t) &= \omega_2(t), \end{aligned} \right\}$$

(1)

- где U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, B ;
- ω_1 – угловая скорость исполнительного органа электродвигателя, $\frac{рад}{с}$;
- $I_{я}$ – ток якорной цепи электродвигателя, A ;
- M_y – упругий момент электропривода, $H \cdot м$;
- $\omega_1^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электродвигателя, $\frac{рад}{с^2}$;
- $M_{с0}$ – постоянный по величине момент сопротивления электропривода, $H \cdot м$;
- ω_2 – угловая скорость исполнительного органа механизма, $\frac{рад}{с}$;
- $\omega_2^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{рад}{с^2}$;
- φ_1 – угол поворота исполнительного органа электродвигателя, $рад$;
- φ_2 – угол поворота исполнительного органа механизма, $рад$;
- C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электродвигателя и его ЭДС, $\frac{B \cdot с}{рад}$;
- $R_{я}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, $Ом$;
- C_m – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, $B \cdot с$;
- K_c – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электропривода и моментом сопро-

тивления, зависящим от скорости, $\frac{H \cdot m \cdot c}{рад}$;

J_1 – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, $кг \cdot м^2$.

J_2 – момент инерции исполнительного органа механизма, $кг \cdot м^2$;

C_y – упругость валопровода, $\frac{H \cdot м}{рад}$.

Для данного электропривода предлагается реализовать перемещение исполнительного органа в соответствии с оптимальными по быстродействию диаграммами, так же как и для электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления и упругим валопроводом[5]:

– без ограничения по скорости исполнительного органа при малых перемещениях;

– с ограничением по скорости исполнительного органа при больших перемещениях.

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом без ограничения по скорости, состоящая из десяти этапов, которая идентична представленной в предыдущей статье [5]. На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

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

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

ω_{max} – максимальное значение угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{рад}{с}$;

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

$\omega_{\max}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{рад}{с^3}$;

$\omega_{\max}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{рад}{с^4}$;

t_1 – длительность первого, второго, четвертого, пятого, шестого, седьмого, девятого и десятого этапов, с;

t_2 – длительность третьего и восьмого этапов, с.

Для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом без ограничения по скорости справедливы соотношения:

$$t_1 = \sqrt{\frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}}; \quad (2)$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\max}^{(1)}} + \frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}}; \quad (3)$$

$$T_{\text{ц}} = 8t_1 + 2t_2; \quad (4)$$

$$\omega_{\max} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left[\sqrt{\frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\max}^{(1)}} + \frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}} - \sqrt{\frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}} \right], \quad (5)$$

где $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла перемещения исполнительного органа электропривода, с.

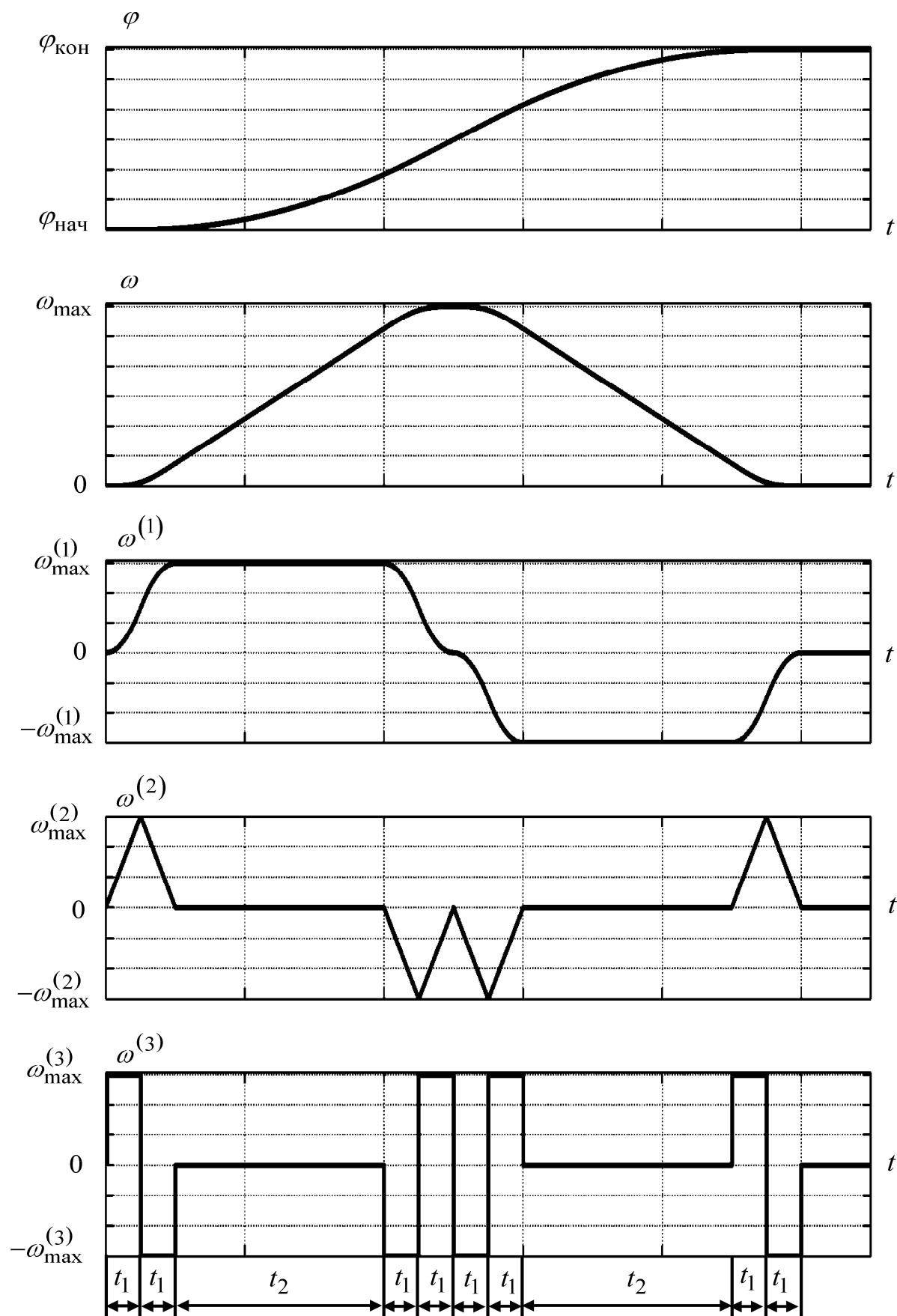


Рисунок 1

При реализации перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой без ограничения по скорости якорной цепью электропривода из сети потребляется электроэнергия

$$\begin{aligned}
 W = & \frac{C_e}{C_M} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot M_{c0} + \\
 & + \frac{C_e}{C_M} \cdot K_c \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot \left(\frac{4021}{315} t_1^7 + \frac{47}{3} t_1^6 t_2 + 6 t_1^5 t_2^2 + \frac{2}{3} t_1^4 t_2^3 \right) + \\
 & + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \left\{ M_{c0}^2 \cdot (8t_1 + 2t_2) + 2K_c \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot M_{c0} + \right. \\
 & + K_c^2 \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot \left(\frac{4021}{315} t_1^7 + \frac{47}{3} t_1^6 t_2 + 6 t_1^5 t_2^2 + \frac{2}{3} t_1^4 t_2^3 \right) - \\
 & - 4K_c^2 \frac{J_1}{C_y} \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot \left(\frac{23}{15} t_1^5 + t_1^4 t_2 \right) + \\
 & + 2 \cdot (J_1 + J_2)^2 \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot \left(\frac{23}{15} t_1^5 + t_1^4 t_2 \right) - \\
 & - \frac{16}{3} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot t_1^3 + \frac{8}{3} K_c^2 \cdot \frac{J_1^2}{C_y^2} \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot t_1^3 + \\
 & + 8 \cdot \frac{J_1^2 J_2^2}{C_y^2} \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot t_1 \left. \right\} - \\
 & - \frac{16}{3} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot t_1^3 + 8 \cdot \frac{J_1^2 J_2^2}{C_y^2} \cdot [\omega_{\text{max}}^{(3)}]^2 \cdot t_1 \left. \right\}. \quad (6)
 \end{aligned}$$

Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом без ограничения по скорости справедлива при выполнении условия:

$$\varphi_{Гр1} \leq (\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) \leq \varphi_{Гр2}, \quad (7)$$

где $\varphi_{Гр1} = 8 \cdot \frac{[\omega_{max}^{(1)}]^2}{\omega_{max}^{(3)}};$

$$\varphi_{Гр2} = \omega_{доп} \cdot \left[\frac{\omega_{доп}}{\omega_{max}^{(1)}} + 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{max}^{(1)}}{\omega_{max}^{(3)}}} \right];$$

$\omega_{доп}$ – максимально допустимое значение угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{рад}{с^2}$.

Если условие (7) не выполняется, то необходимо перемещение исполнительного органа механизма осуществлять по оптимальной по быстродействию диаграмме с ограничением по скорости.

На рисунке 2 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом с ограничением по скорости, состоящая из одиннадцати этапов. На рисунке 2 приняты следующие обозначения:

- t_1 – длительность первого, второго, четвертого, пятого, седьмого, восьмого, десятого и одиннадцатого этапов c ;
- t_2 – длительность третьего и девятого этапов, c ;
- t_3 – длительность шестого этапа, c .

Для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом с ограничением по скорости справедливы следующие соотношения:

$$t_1 = \sqrt{\frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}}; \quad (8)$$

$$t_2 = \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\max}^{(1)}} - 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}}; \quad (9)$$

$$t_3 = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\max}^{(1)}} - 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}}; \quad (10)$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} + \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\max}^{(1)}} + 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\max}^{(1)}}{\omega_{\max}^{(3)}}}. \quad (11)$$

При реализации перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой с ограничением по скорости якорной цепью электропривода из сети потребляется электроэнергия

$$\begin{aligned} W = & \frac{C_e}{C_M} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot M_{c0} + \\ & + \frac{C_e}{C_M} \cdot K_c \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot \left(\frac{4021}{315} t_1^7 + \frac{47}{3} t_1^6 t_2 + 6 t_1^5 t_2^2 + \frac{2}{3} t_1^4 t_2^3 \right) + \\ & + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \left\{ M_{c0}^2 \cdot (8t_1 + 2t_2 + t_3) + 2K_c \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot M_{c0} + \right. \\ & + K_c^2 \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot \left(\frac{4021}{315} t_1^7 + \frac{47}{3} t_1^6 t_2 + 6 t_1^5 t_2^2 + \frac{2}{3} t_1^4 t_2^3 \right) - \\ & - 4K_c^2 \frac{J_1}{C_y} \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot \left(\frac{23}{15} t_1^5 + t_1^4 t_2 \right) + \\ & + 2 \cdot (J_1 + J_2)^2 \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot \left(\frac{23}{15} t_1^5 + t_1^4 t_2 \right) - \\ & - \frac{16}{3} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot t_1^3 + \frac{8}{3} K_c^2 \cdot \frac{J_1^2}{C_y^2} \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot t_1^3 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+8 \cdot \frac{J_1^2 J_2^2}{C_y^2} \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot t_1 \left. \vphantom{\frac{J_1^2 J_2^2}{C_y^2}} \right\} - \\
 &- \frac{16}{3} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot t_1^3 + 8 \cdot \frac{J_1^2 J_2^2}{C_y^2} \cdot \left[\omega_{\max}^{(3)} \right]^2 \cdot t_1 \left. \vphantom{\frac{J_1^2 J_2^2}{C_y^2}} \right\}. \quad (12)
 \end{aligned}$$

Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом с ограничением по скорости справедлива при выполнении условия

$$\varphi_{\text{Гр2}} \leq (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}). \quad (13)$$

В зависимости от заданных величины перемещения исполнительного органа механизма, длительности цикла и длительности этапов t_1 , возможны два варианта реализации данного перемещения. При этом должно выполняться условие

$$T_{\text{ц}} \geq 8t_1. \quad (14)$$

Вариант 1. Если выполняется условие

$$T_{\text{ц}} \geq 2 \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}}, \quad (15)$$

то для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом без ограничения по скорости справедливы соотношения

$$t_2 = \frac{1}{2} T_{\text{ц}} - 4t_1; \quad (16)$$

$$t_3 = 0; \quad (17)$$

$$\omega_{\max} = 2 \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{T_{\text{ц}}}; \quad (18)$$

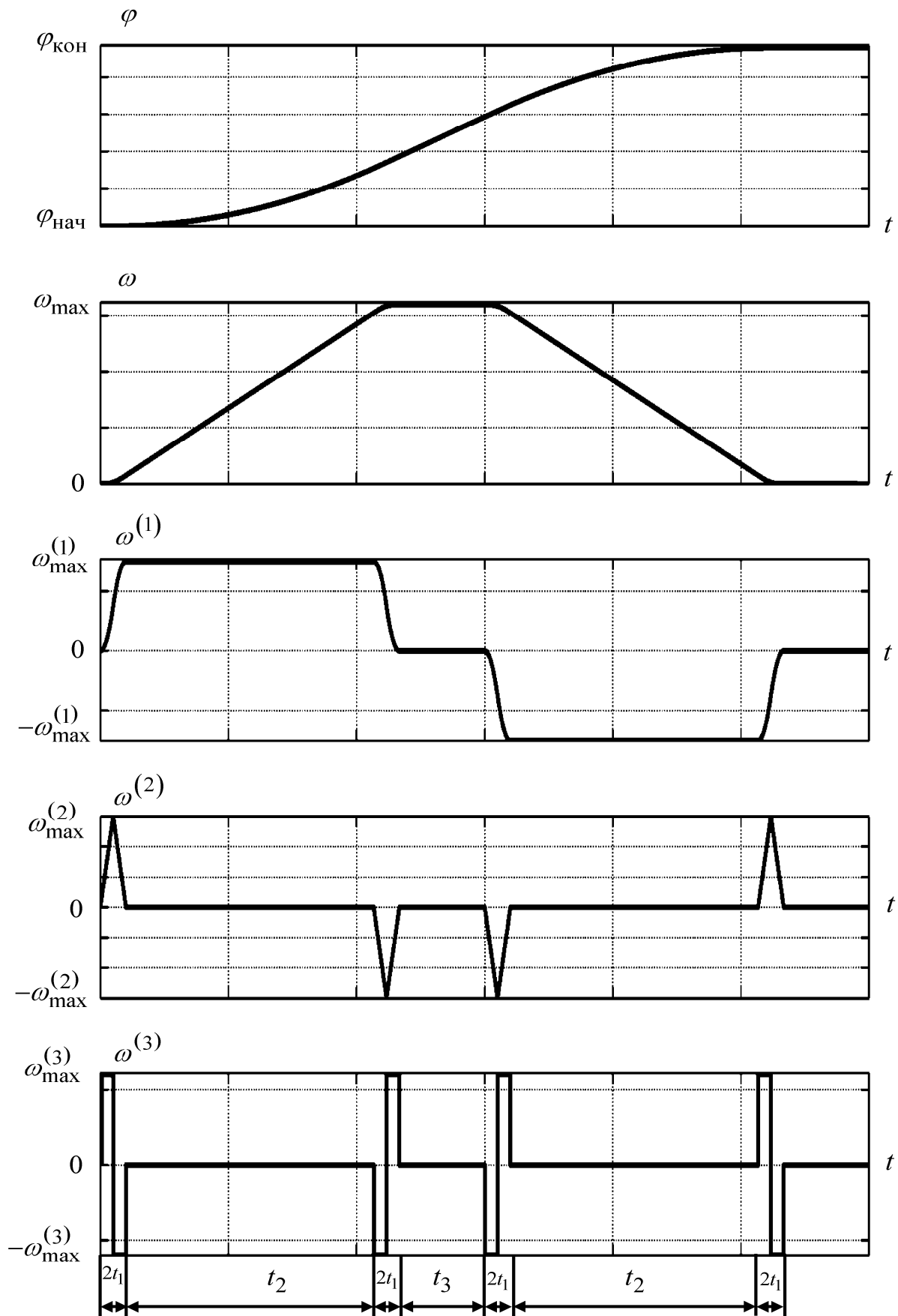


Рисунок 2

$$\omega_{\max}^{(1)} = 4 \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{T_{\text{ц}} \cdot (T_{\text{ц}} - 4t_1)}; \quad (19)$$

$$\omega_{\max}^{(2)} = \frac{\omega_{\max}^{(1)}}{t_1}; \quad (20)$$

$$\omega_{\max}^{(3)} = \frac{\omega_{\max}^{(1)}}{t_1^2}. \quad (21)$$

Вариант 2. Если выполняется условие

$$T_{\text{ц}} \leq 2 \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}}, \quad (22)$$

то для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом с ограничением по скорости справедливы соотношения

$$t_2 = T_{\text{ц}} - 4t_1 - \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}}; \quad (23)$$

$$t_3 = 2 \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - T_{\text{ц}}; \quad (24)$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left(T_{\text{ц}} - 2t_1 - \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} \right)^{-1}; \quad (25)$$

$$\omega_{\max}^{(2)} = \frac{\omega_{\max}^{(1)}}{t_1}; \quad (26)$$

$$\omega_{\max}^{(3)} = \frac{\omega_{\max}^{(1)}}{t_1^2}. \quad (27)$$

Сопоставление аналитических зависимостей параметров оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока как с постоянным моментом сопротивления [5], так и с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом показало их идентич-

ность. Исключение составляют только аналитические зависимости для электроэнергии, потребляемой якорной цепью электропривода из сети, при перемещении его исполнительного органа по предлагаемым диаграммам. Таким образом, представленный алгоритм управления позиционными электроприводами с упругим валопроводом не зависит от величины и характера изменения момента сопротивления электропривода.

Для проведения численного эксперимента выбран электропривод постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом, имеющий следующие

параметры: $C_e = 1,25 \frac{B \cdot c}{\text{рад}}$; $C_M = 1,25 B \cdot c$; $R_{\text{я}} = 5 \text{ Ом}$; $J_1 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$J_2 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $C_y = 5 \frac{H \cdot \text{м}}{\text{рад}}$; $K_c = 7,8125 \cdot 10^{-3} \frac{H \cdot \text{м} \cdot c}{\text{рад}}$. Допустимые

значения первой производной и третьей производной угловых скоростей ис-

полнительного органа механизма: $\omega_{\text{доп}}^{(1)} = 150 \frac{\text{рад}}{c^2}$ и $\omega_{\text{доп}}^{(3)} = 60000 \frac{\text{рад}}{c^4}$. При

расчетах постоянный по величине момент сопротивления электропривода имел значение $M_{c0} = 1,25 H \cdot \text{м}$.

Для электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом, осуществляющего перемещение своего исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой без ограничения по скорости, проведена серия численных экспериментов для определения зависимостей: длительности цикла перемещения исполнительного

органа электропривода $T_{\text{ц}}$ от заданного перемещения $\Delta\varphi = (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$;

потребляемой якорной цепью электропривода электроэнергии $W_{\text{от}}$ заданного перемещения $\Delta\varphi = (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$. При этом задание на перемещение

$\Delta\varphi$ изменялось от $\varphi_{\text{тр1}}$ до $\varphi_{\text{тр2}}$.

Максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа принималось равным:

$$\omega_{\max}^{(1)} = 150 \frac{\text{рад}}{c^2} \text{ (при этом } \varphi_{\text{гр1}} = 3 \text{ рад и } \varphi_{\text{гр2}} = 186\frac{2}{3} \text{ рад)};$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = 125 \frac{\text{рад}}{c^2} \text{ (при этом } \varphi_{\text{гр1}} = 2,5 \text{ рад и } \varphi_{\text{гр2}} = 220,8 \text{ рад)};$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{c^2} \text{ (при этом } \varphi_{\text{гр1}} = 2 \text{ рад и } \varphi_{\text{гр2}} = 272 \text{ рад)};$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = 75 \frac{\text{рад}}{c^2} \text{ (при этом } \varphi_{\text{гр1}} = 1,5 \text{ рад и } \varphi_{\text{гр2}} = 357\frac{1}{3} \text{ рад)};$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = 50 \frac{\text{рад}}{c^2} \text{ (при этом } \varphi_{\text{гр1}} = 1 \text{ рад и } \varphi_{\text{гр2}} = 528 \text{ рад)};$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{c^2} \text{ (при этом } \varphi_{\text{гр1}} = 0,8 \text{ рад и } \varphi_{\text{гр2}} = 656 \text{ рад)}.$$

Для электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом, осуществляющего перемещение своего исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой с ограничением по скорости, исследуемые зависимости являются линейными, поэтому достаточно рассчитать параметры электропривода для еще одной точки.

На рисунке 3 на основании проведенного численного эксперимента построены зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа электропривода $T_{\text{ц}}$ от заданного перемещения $\Delta\varphi = (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$.

Кривая 1 получена при $\omega_{\max}^{(1)} = 150 \frac{\text{рад}}{c^2}$ и $\omega_{\max}^{(3)} = 60000 \frac{\text{рад}}{c^4}$; кривая 2 по-

лучена при $\omega_{\max}^{(1)} = 125 \frac{\text{рад}}{c^2}$ и $\omega_{\max}^{(3)} = 50000 \frac{\text{рад}}{c^4}$; кривая 3 получена

при $\omega_{\max}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ и $\omega_{\max}^{(3)} = 40000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$; кривая 4 получена

при $\omega_{\max}^{(1)} = 75 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ и $\omega_{\max}^{(3)} = 30000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$; кривая 5 получена

при $\omega_{\max}^{(1)} = 50 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ и $\omega_{\max}^{(3)} = 20000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$; кривая 6 получена

при $\omega_{\max}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ и $\omega_{\max}^{(3)} = 16000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$.

На рисунке 4 на основании проведенного численного эксперимента построены зависимости потребляемой якорной цепью электропривода электроэнергии W от заданного перемещения $\Delta\varphi = (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$. Кривая 1

получена при $\omega_{\max}^{(1)} = 150 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; кривая 2 получена при $\omega_{\max}^{(1)} = 125 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; кри-

вая 3 получена при $\omega_{\max}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; кривая 4 получена при $\omega_{\max}^{(1)} = 75 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

кривая 5 получена при $\omega_{\max}^{(1)} = 50 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; кривая 6 получена

при $\omega_{\max}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$.

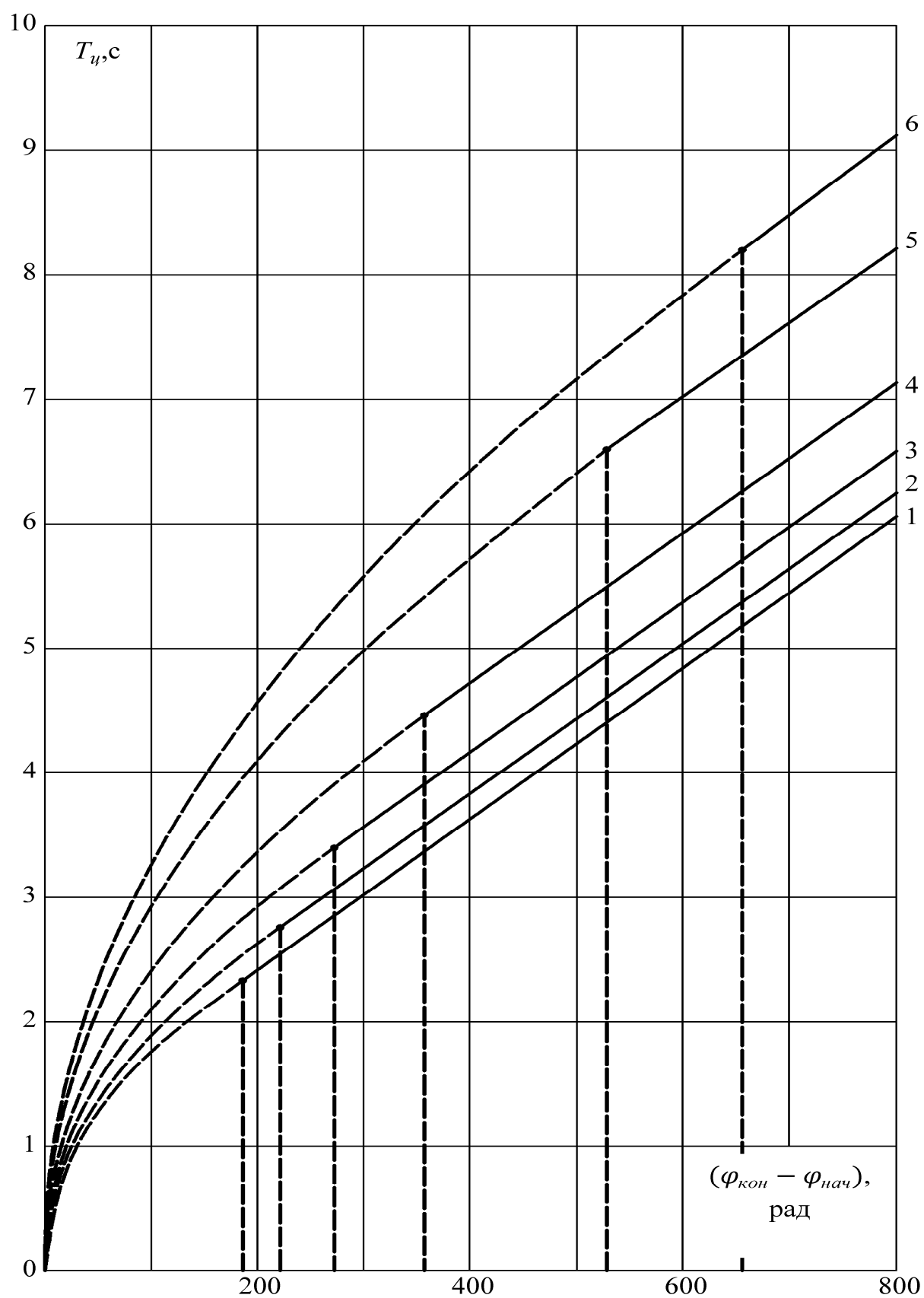


Рисунок 3

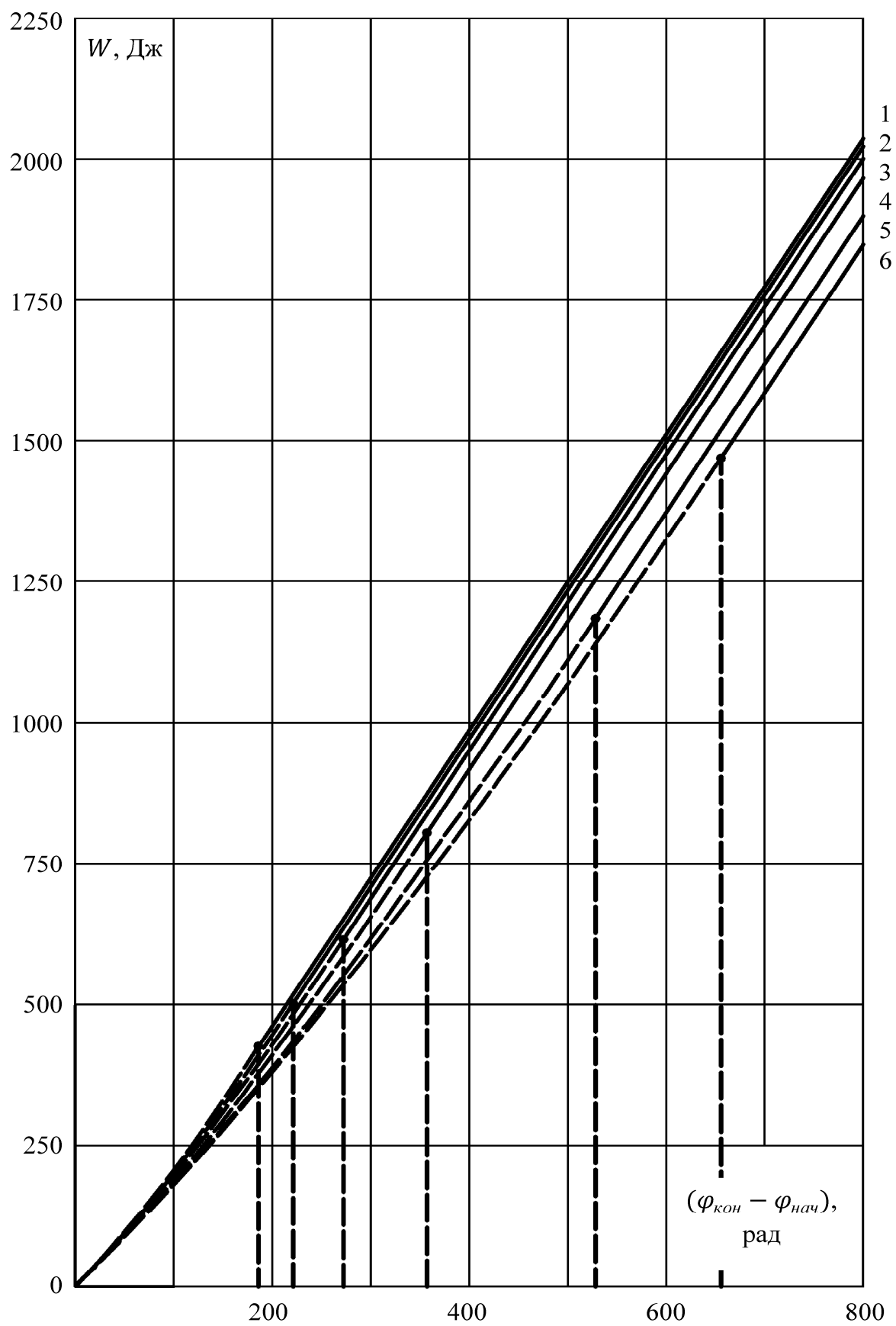


Рисунок 4

Выводы

Предложено рациональное управление позиционным электроприводом постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом – осуществлять перемещение исполнительного органа промышленного механизма не за минимально возможное время с большим потреблением электрической энергии из сети, а за заданное по технологии время с меньшим потреблением электрической энергии из сети.

Получены аналитические зависимости для электроэнергии, потребляемой якорной цепью электропривода, при перемещении его исполнительного органа по оптимальным по быстродействию диаграммам, как без ограничения, так и с ограничением по скорости.

Разработан алгоритм, который позволяет определять для электропривода постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом, совершающим заданное перемещение исполнительного органа за заданное время, вид конкретной диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода и ее параметры.

Предлагаемое управление позиционным электроприводом постоянного тока с упругим валопроводом не зависит от величины и характера изменения момента сопротивления промышленного механизма.

Внедрение предлагаемого рационального управления позиционным электроприводом постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени, и упругим валопроводом приведет к уменьшению потребленной из сети электроэнергии.

Список литературы

1. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
2. Ю.П. Добробаба. Электрический привод. учеб.пособие 2-е изд. доп. /Кубан. гос. технол. ун-т. -Краснодар: Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2013. – 302 с.
3. Ю.П. Добробаба, А.В. Кравченко. Разработка рационального управления позиционным электроприводом постоянного тока с постоянным моментом сопротивления. -Научный журнал КубГАУ №87(03), 2013. Ссылка на интернет-ресурс: <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/49.pdf>.
4. Ю.П. Добробаба, А.В. Кравченко, Н.А. Волошенко. Разработка рационального управления позиционным электроприводом постоянного тока с моментом сопротивления, зависящим от скорости в виде полинома первой степени. -Научный журнал КубГАУ №89(05), 2013. Ссылка на интернет-ресурс: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/33.pdf>.
5. Ю.П. Добробаба, А.В. Кравченко, Т.С. Живодров. Разработка рационального управления позиционным электроприводом постоянного тока с постоянным моментом сопротивления и упругим валопроводом. -Научный журнал КубГАУ №95(01), 2014. Ссылка на интернет-ресурс: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/51.pdf>.

References

1. Sokolov M.M. Avtomatizirovannyj jelektroprivod obshhepromyshlennyh mehanizmov. – М.: Jenergija, 1976. – 488 s.
2. Ju.P. Dobrobaba. Jelektricheskij privod. ucheb.posobie 2-e izd. dop. /Kuban. gos. tehnol. un-t. -Krasnodar: Izd. FGBOU VPO «KubGTU», 2013. – 302 s.
3. Ju.P. Dobrobaba, A.V. Kravchenko. Razrabotka racional'nogo upravlenija pozicionnym jelektroprivodom postojannogo toka s postojannym momentom soprotivlenija. - Nauchnyj zhurnal KubGAU №87(03), 2013. Ssylka na internet-resurs: <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/49.pdf>.
4. Ju.P. Dobrobaba, A.V. Kravchenko, N.A. Voloshenko. Razrabotka racional'nogo upravlenija pozicionnym jelektroprivodom postojannogo toka s momentom soprotivlenija, zavisjashhim ot skorosti v vide polinoma pervoj stepeni. -Nauchnyj zhurnal Kub-GAU №89(05), 2013. Ssylka na internet-resurs: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/33.pdf>.
5. Ju.P. Dobrobaba, A.V. Kravchenko, T.S. Zhivodrov. Razrabotka racional'nogo upravlenija pozicionnym jelektroprivodom postojannogo toka s postojannym momentom soprotivlenija i uprugim valoprovodom. -Nauchnyj zhurnal KubGAU №95(01), 2014. Ssylka na internet-resurs: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/51.pdf>.