

УДК 62.83.52:62.503.56

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ  
ВТОРОГО ВИДА ДИАГРАММЫ ПРИ НЕБОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ  
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА  
С ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКОРОСТИ МОМЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

**Ю.П. ДОБРОБАБА<sup>1</sup>, Г.А. КОШКИН<sup>2</sup>, Н.Я. ПРОХОРЕНКО<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: *itstimetoprivod@yahoo.com*; *classyadvets@gmail.com*

<sup>2</sup>НКУ ООО «Прогресс»,  
350059, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Новороссийская, 238.

В статье рассмотрена оптимальная по быстродействию второго вида диаграмма при небольших перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления, состоящая из четырёх этапов. Получены аналитические зависимости для четырёх этапов оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы при небольших перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. Совместное решение шести уравнений позволяет определить длительности четырёх этапов перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления и конечные значения угла поворота исполнительного органа и его первой производной. Установлена область существования для оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы при небольших перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. При построении зависимостей контролируемых координат электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления от времени при небольших перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой второго вида использован программный пакет MATLAB.

**Ключевые слова:** электропривод; постоянный ток; небольшие перемещения; диаграмма перемещения; исполнительный орган.

На данный момент авторами в полном объеме решена задача оптимального по быстродействию управления малыми перемещениями исполнительного органа (ИО) электропривода (ЭП) постоянного тока (ПТ) с зависящим от скорости моментом сопротивления:

- определены корни характеристического уравнения для всех видов диаграммы перемещения [1];
- определены параметры оптимальной по быстродействию трёх видов диаграммы [2-4];
- разработано устройство формирующее сигнал, соответствующий оптимальной по быстродействию диаграмме перемещения [5];

Продолжением работы служит определение параметров оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы для небольших перемещений ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления (задача по определению параметров оптимальной по быстродействию первого вида решена в работе [6]).

На рис. 1 и 2 представлены оптимальные по быстродействию второго вида диаграммы при небольших перемещениях ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления. На рис. 1 и 2 приняты следующие обозначения:

$U$  – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{я}$  – ток якорной цепи электродвигателя, А;

$\varphi$  – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi^{(1)}$  – первая производная угла поворота исполнительного органа электродвигателя,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ;

$\varphi^{(2)}$  – вторая производная угла поворота исполнительного органа электродвигателя,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ ;

$\varphi^{(3)}$  – третья производная угла поворота исполнительного органа электродвигателя,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$ .

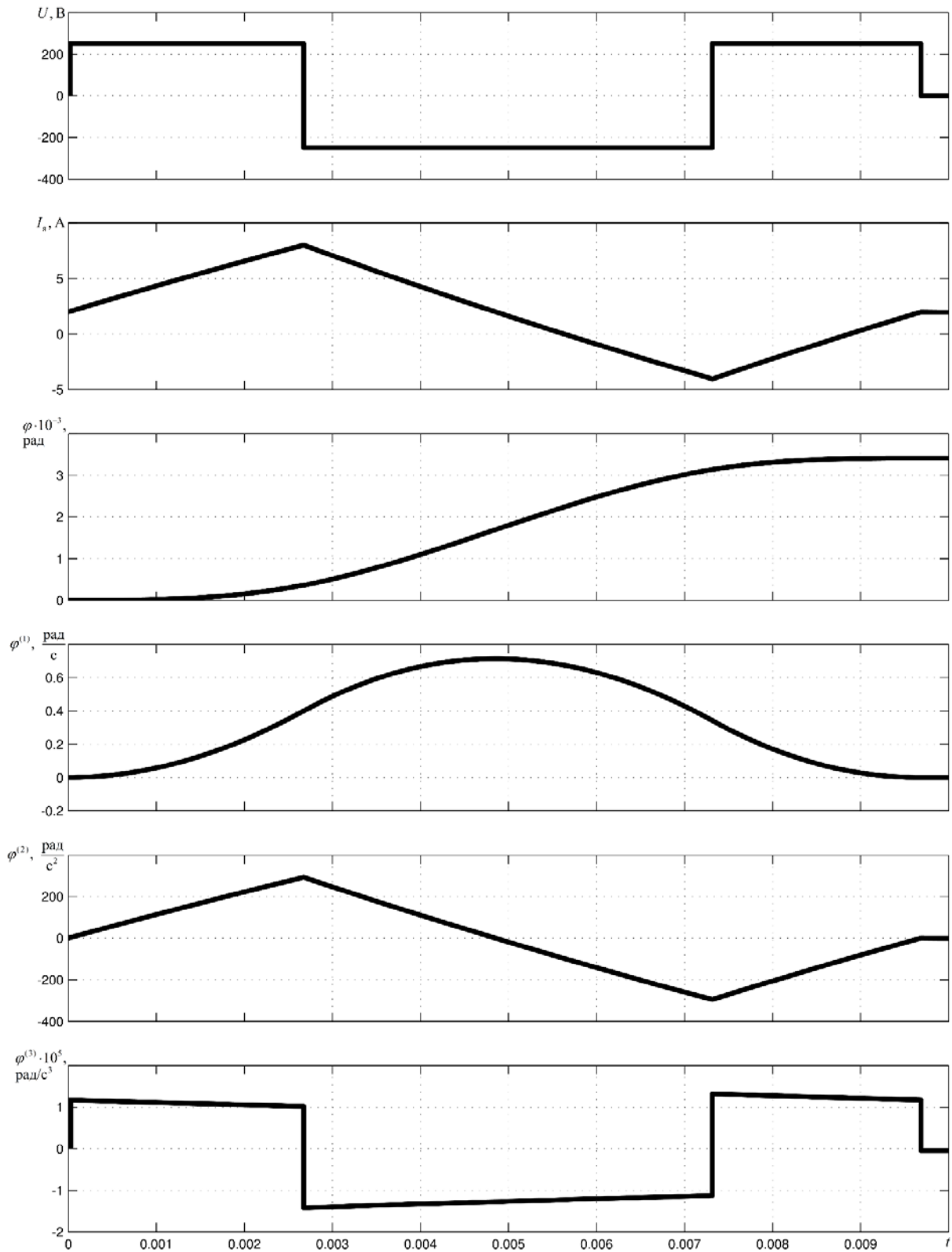


Рисунок 1 - Оптимальная по быстродействию второго вида диаграмма при небольших перемещениях ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления при  $\varphi_{гр.1} = 0,003398$  рад,  $M_{со} = 2,5$  Н·м;  $K_c = 0,015625 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$ .

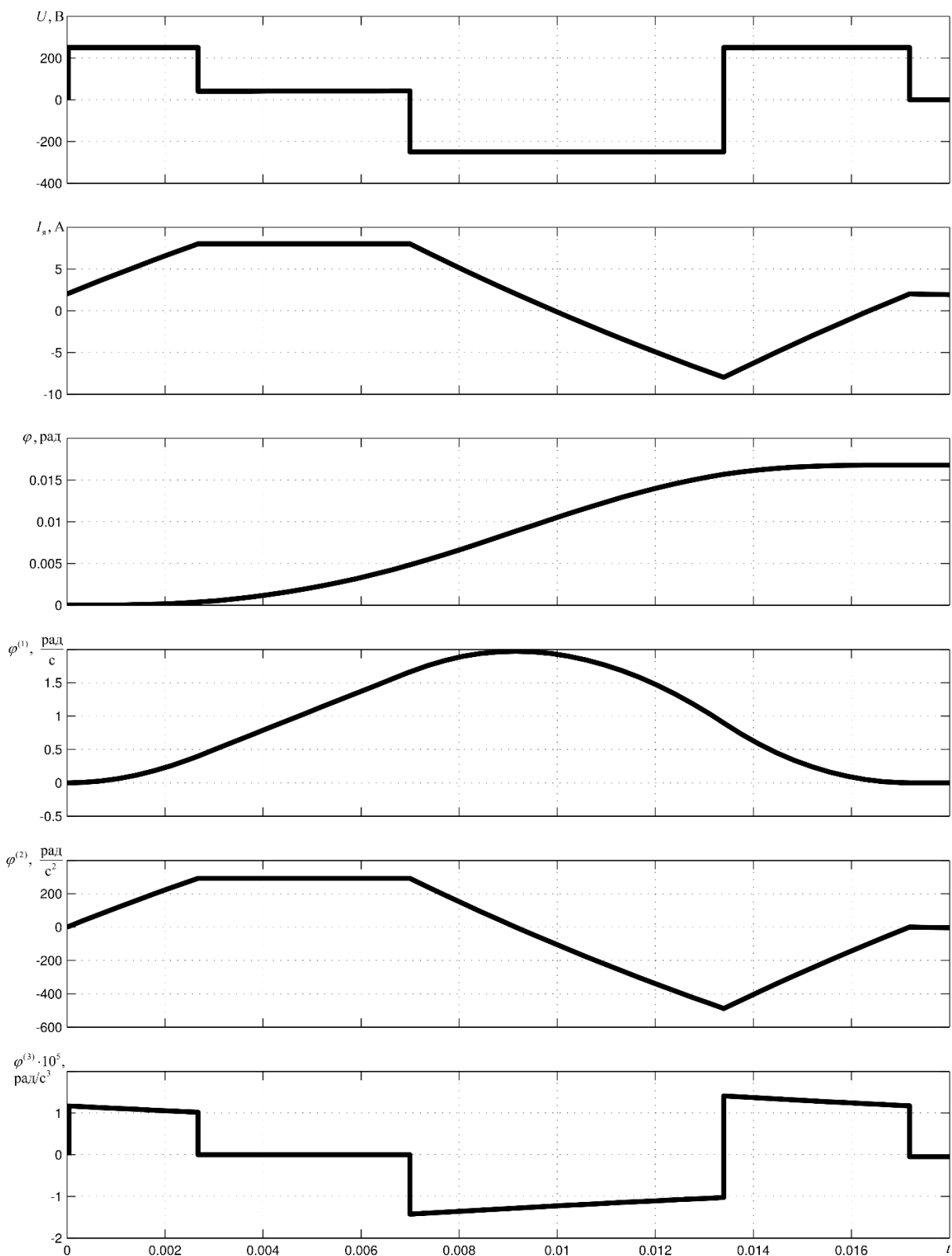


Рисунок 2 - Оптимальная по быстродействию второго вида диаграмма при небольших перемещениях ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления при  $\varphi_{гр.2}=0,016785$  рад,  $M_{co} = 2,5$  Н·м;  $K_c = 0,015625 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$ .

Для оптимальной по быстрдействию диаграммы второго вида при небольших перемещениях ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления, состоящей из четырёх этапов, справедливы следующие соотношения:

$$C_M \cdot I_{\text{доп}} = M_{\text{со}} + K_c \cdot \left[ 1 - \left( 1 + \frac{t_1}{T} \right) \cdot e^{-\frac{t_1}{T}} \right] \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right] + J \cdot \frac{t_1}{T^2} \cdot e^{-\frac{t_1}{T}} \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right]; \quad (1)$$

$$\varphi_1 = (2T + t_1) \cdot e^{-\frac{t_1}{T}} \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right] + \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right] \cdot t_1 + \varphi_{\text{нач}} - 2T \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right]; \quad (2)$$

$$\varphi_1^{(1)} = \left[ 1 - \left( 1 + \frac{t_1}{T} \right) \cdot e^{-\frac{t_1}{T}} \right] \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right]; \quad (3)$$

$$\varphi_{\text{кон}} = \varphi_1 + \frac{J}{K_c} \cdot \varphi_1^{(1)} + \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{K_c} \cdot \left[ 2T - \frac{J}{K_c} + t_2 \right] + \left[ \frac{J}{K_c} - 2T + \frac{K_c}{J} \cdot T^2 \right] \cdot \left[ \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{K_c} - \varphi_1^{(1)} \right] \cdot e^{-\frac{K_c \cdot t_2}{J}} + \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} \cdot (-t_3 + t_4) - \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \cdot (t_3 + t_4); \quad (4)$$

$$\left\langle 2 \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \left\{ \left[ 1 - \frac{K_c}{J} \cdot T \right] \cdot \left[ \varphi_1^{(1)} - \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{K_c} \right] \cdot e^{-\frac{K_c \cdot t_2}{J}} + \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{K_c} + \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} + \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right] \cdot e^{-\frac{t_3}{T}} \right\} \cdot e^{-\frac{t_4}{T}} = \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right]; \quad (5)$$

$$\left\langle 4T \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \left\{ \left[ 2 - \frac{K_c}{J} \cdot T \right] \cdot \left[ \varphi_1^{(1)} - \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{K_c} \right] \cdot e^{-\frac{K_c \cdot t_2}{J}} + 2 \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{K_c} + 2 \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} + \frac{R_y M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right] \cdot T \cdot e^{-\frac{t_3}{T}} - \left\{ \left[ 1 - \frac{K_c}{J} \cdot T \right] \cdot \left[ \varphi_1^{(1)} - \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{K_c} \right] \cdot e^{-\frac{K_c \cdot t_2}{J}} + \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{K_c} + \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} + \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right] \left. \right\} \cdot t_3 \cdot e^{-\frac{t_3}{T}} \left. \right\} \cdot e^{-\frac{t_4}{T}} = 2T \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right] - \\
 & - \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right] \cdot t_4, \tag{6}
 \end{aligned}$$

где 
$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{\text{я}} J + L_{\text{я}} K_c}{C_e C_M + R_{\text{я}} K_c};$$

$$U_{\text{доп}^*} = U_{\text{доп}} \cdot \frac{C_e C_M}{C_e C_M + R_{\text{я}} K_c};$$

$$M_{\text{со}^*} = M_{\text{со}} \cdot \frac{C_e C_M}{C_e C_M + R_{\text{я}} K_c};$$

$U_{\text{доп}}$  – максимально допустимое значение напряжения, приложенного к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{\text{доп}}$  – максимально допустимое значение тока якорной цепи электродвигателя, А;

$M_{\text{со}}$  – постоянный по величине момент сопротивления ЭП Н·м;

$\varphi_1$  – угол поворота ИО ЭП ПТ в конце первого этапа, рад;

$\varphi_1^{(1)}$  – первая производная угла поворота ИО ЭП ПТ в конце первого этапа,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ;

$C_e$  – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и ЭДС электродвигателя,  $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$ ;

$R_{\text{я}}$  – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;

$L_{\text{я}}$  – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн;

$C_M$  – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, В·с;

$K_c$  – коэффициент, пропорциональности между скоростью и моментом сопротивления электропривода  $\frac{H \cdot m \cdot c}{рад}$ ;

$J$  – момент инерции исполнительного органа электропривода,  $кг \cdot м^2$ ;

$t_1$  – длительность перемещения ИО ЭП на первый этап, с;

$t_2$  – длительность перемещения ИО ЭП на второй этап, с;

$t_3$  – длительность перемещения ИО ЭП на третий этап, с;

$t_4$  – длительность перемещения ИО ЭП на четвертый этап, с.

Из уравнений (1)÷(6) определяются параметры диаграммы  $t_1$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_1^{(1)}$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  и  $t_4$ .

Если  $t_2 = 0$ , то  $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \varphi_{гр.1}$ .

Из уравнений (1)÷(3) и (5)÷(6); определяются параметры диаграммы  $t_1$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_1^{(1)}$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ . Из зависимости (4) определяется первое граничное значение угла поворота  $\varphi_{гр.1}$ .

Если  $I_{min} = -I_{доп}$ , то  $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \varphi_{гр.2}$ .

При этом справедливо уравнение

$$-C_M I_{доп} = M_{со} + K_c \cdot \left[ 1 - e^{\frac{t_4}{T}} + \frac{t_4}{T} \cdot e^{\frac{t_4}{T}} \right] \cdot \left[ \frac{U_{доп*}}{C_e} - \frac{R_{я} M_{со*}}{C_e C_M} \right] - \frac{J}{T} \cdot \left[ \frac{U_{доп*}}{C_e} - \frac{R_{я} M_{со*}}{C_e C_M} \right] \cdot \frac{t_4}{T} \cdot e^{\frac{t_4}{T}}. \quad (7)$$

Из уравнений (1)÷(3) и (5)÷(7); определяются параметры диаграммы  $t_1$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_1^{(1)}$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ . Из зависимости (4) определяется второе граничное значение угла поворота  $\varphi_{гр.2}$ .

В данной работе рассматривается ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления, который имеет следующие параметры и ограничения контролируемых координат:

$$C_c = 1,25 \quad \text{В} \cdot \text{с/рад}; \quad C_m = 1,25 \quad \text{В} \cdot \text{с}; \quad R_y = 5 \quad \text{Ом}; \quad L_y = 0,1 \quad \text{Гн};$$

$$J = 0,025621 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2; \quad U_{\text{доп}} = 250 \quad \text{В}; \quad I_{\text{доп}} = 8 \quad \text{А}; \quad \omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

На рис. 1 представлена оптимальная по быстродействию второго вида диаграмма при небольших перемещениях ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления при  $\varphi_{\text{гр.1}} = 0,003398 \text{ рад}$ ,  $M_{\text{co}} = 2,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;

$$K_c = 0,015625 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

При этом длительности интервалов времени имеют следующие значения:

$$t_1 = 0,002673 \text{ с}; \quad t_2 = 0 \text{ с}; \quad t_3 = 0,004636 \text{ с}; \quad t_4 = 0,002369 \text{ с}.$$

На рис. 2 представлена оптимальная по быстродействию второго вида диаграмма при небольших перемещениях ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления при  $\varphi_{\text{гр.2}} = 0,016785 \text{ рад}$ ,  $M_{\text{co}} = 2,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;

$$K_c = 0,015625 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

При этом длительности интервалов времени имеют следующие значения:

$$t_1 = 0,002673 \text{ с}; \quad t_2 = 0,004323 \text{ с}; \quad t_3 = 0,006401 \text{ с}; \quad t_4 = 0,003790 \text{ с}.$$

Для данной системы ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления угол поворота ИО и его первая производная имеют следующие значения:

$$\varphi_1 = 0,000360 \text{ рад}; \quad \varphi_1^{(1)} = 0,399822 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Установлена область существования оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы при небольших перемещениях ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления:  $\varphi_{\text{гр.1}} \leq (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \leq \varphi_{\text{гр.2}}$ .

## Вывод

Разработан алгоритм, позволяющий определять параметры оптимальных по быстродействию диаграмм второго вида при небольших перемещениях ИО ЭП ПТ с зависящим от скорости моментом сопротивления.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Дობробаба Ю.П. Оптимальное по быстродействию управление малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Технические и технологические системы: Материалы восьмой международной научной конференции «ТТС-16» (24-26 ноября 2016 года) ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. -Краснодар: Издательский Дом -Юг, 2016. -109-114 с.

2. Дობробаба Ю.П. Определение параметров оптимальной по быстродействию первого вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления [Электронный ресурс] / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Научные труды КубГТУ. -2016. -№12. -Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/1221>.

3. Дობробаба Ю.П. Определение параметров оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления [Электронный ресурс] / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Научные труды КубГТУ. -2016. -№13. -Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/1265>.

4. Дობробаба Ю.П. Определение параметров оптимальной по быстродействию третьего вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления [Электронный ресурс] / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Научные труды КубГТУ. -2016. -№15. -Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/1288>.

5. Дობробаба Ю.П. Устройство для формирования сигнала, соответствующего оптимальной по быстродействию диаграмме для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления [Электронный ресурс] / Ю.П. Дობробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Научные труды КубГТУ. -2017. -№3. -Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/1541>.

6. Добробаба Ю.П. Определение параметров оптимальной по быстродействию первого вида диаграммы при небольших перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления [Электронный ресурс] / Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко // Научные труды КубГТУ. -2017. -№4. -Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/1597>.

#### REFERENCES

1. Dobrobaba YU.P. Optimalnoe po bystrodejstviyu upravlenie malymi peremeshcheniyami ispolnitel'nogo organa ehlektroprivoda postoyannogo toka s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya / YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prohorenko // Tekhnicheskie i tekhnologicheskie sistemy: Materialy vos'moj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «TTS-16» (24-26 noyabrya 2016 goda) FGBOU VO «KubGTU», KVVAUL im. A.K. Serova; pod obshchej redakciej B.H. Gajtova. -Krasnodar: Izdatel'skij Dom -YUg, 2016. -109-114 s.

2. Dobrobaba YU.P. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstviyu pervogo vida diagrammy dlya malyh peremeshchenij ispolnitelnogo organa ehlektroprivoda postoyannogo toka s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya [EHlektronnyj resurs] / YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prohorenko // Nauchnye trudy KubGTU. -2016. -№12. -Rezhim dostupa: <http://ntk.kubstu.ru/file/1221>.

3. Dobrobaba YU.P. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstviyu vtorogo vida diagrammy dlya malyh peremeshchenij ispolnitelnogo organa ehlektroprivoda postoyannogo toka s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya [EHlektronnyj resurs] / YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prohorenko // Nauchnye trudy KubGTU. -2016. -№13. -Rezhim dostupa: <http://ntk.kubstu.ru/file/1265>.

4. Dobrobaba YU.P. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstviyu tret'ego vida diagrammy dlya malyh peremeshchenij ispolnitelnogo organa ehlektroprivoda postoyannogo toka s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya [EHlektronnyj resurs] / YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prohorenko // Nauchnye trudy KubGTU. -2016. -№15. -Rezhim dostupa: <http://ntk.kubstu.ru/file/1288>.

5. Dobrobaba YU.P. Ustrojstvo dlya formirovaniya signala, sootvetstvuyushchego optimalnoj po bystrodejstviyu diagramme dlya malyh

peremeshchenij ispolnitelnogo organa ehlektroprivoda postoyannogo toka s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya [EHlektronnyj resurs] / YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prohorenko // Nauchnye trudy KubGTU. -2017. - №3. -Rezhim dostupa: <http://ntk.kubstu.ru/file/1541>.

6. Dobrobaba YU.P. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstviyu pervogo vida diagrammy pri nebol'shix peremeshcheniyah ispolnitelnogo organa ehlektroprivoda postoyannogo toka s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya [EHlektronnyj resurs] / YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prohorenko // Nauchnye trudy KubGTU. -2017. -№4. -Rezhim dostupa: <http://ntk.kubstu.ru/file/1597>.

*THE DEFINITION OF OPTIMAL PARAMETERS OF THE SECOND TYPE SCHEME WITH A SLIGHT DISPLACEMENT OF THE EXECUTIVE BODY OF THE DC MOTOR WITH A SPEED-DEPENDENT RESISTIVE TORQUE*

**YU.P. DOBROBABA<sup>1</sup>, G.A. KOSHKIN<sup>2</sup>, N.YA. PROKHORENKO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;  
e-mail: itstimetoprivod@yahoo.com; classyadvets@gmail.com*

<sup>2</sup>*NKU, OOO "Progress",  
238, Novorossiyskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350059.*

The article considers time-optimal second view of the diagram with a small displacement of the Executive body DC electric drive with speed-dependent torque resistance, consisting of four stages. Analytical dependences for the four stages of the optimal second view of the diagram with a small displacement of the Executive body of the DC motor with a speed-dependent resistive torque. The joint solution of six equations allows to determine the duration of the four stages of movement of the Executive body of the DC motor with a speed-dependent resistive torque and end values of the rotation angle of the Executive body and its first derivative. Set the region of existence for optimal second view of the diagram with a small displacement of the Executive body of the DC motor with a speed-dependent resistive torque. When you build the dependencies of coordinates of controlled DC drive with speed-dependent resistive torque on the time with small movements of its Executive body in accordance with the optimal diagram of the second type used the software package MATLAB.

**Key words:** electric drive; direct current; slight movements; diagram of movement; actuating device.