

62.83.52:62.503.56

**БЛИЗКАЯ К ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА
ДЛЯ БОЛЬШИХ ИЗМЕНЕНИЙ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ПОСТОЯННОГО ТОКА**



**CLOSE TO OPTIMUM OPTIMUM DIAGRAM FOR LARGE CHANGES
OF ANGULAR SPEED OF THE EXECUTIVE BODY OF A PRECISION
DC ELECTRIC DRIVE**

Добробаба Юрий Петрович

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

Овсиенко Виктория Александровна

студентка,
Кубанский государственный
технологический университет
alexandrovnav32@mail.ru

Аннотация. Для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода разработана пятиэтапная близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма. Получен алгоритм, позволяющий определить длительности этапов пятиэтапной близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода.

Ключевые слова: пятиэтапная близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма, большие изменения угловой скорости, исполнительный орган прецизионного электропривода.

Dobrobaba Yuriy Petrovich

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

Ovsienko Victoria Alexandrovna

Student,
Kuban state technological university

Annotation. For large changes in the angular velocity of the executive body of a precision electric drive, a five-stage diagram is developed that is close to the optimal in speed. An algorithm is obtained that allows one to determine the duration of the five-stage stages close to the optimal speed diagram for large changes in the angular velocity of the actuator of a precision electric drive.

Keywords: five-stage diagram, close to optimal in speed, large changes in angular velocity, executive body of a precision electric drive.

На рисунке 1 и 2 представлена близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока, состоящая из пяти этапов.

В момент времени t_1 напряжение, приложенное к якорной цепи прецизионного электропривода, достигает максимально допустимого значения $U_{дон}$; в момент времени $(2t_1 + t_2 + t_3)$ напряжение, приложенное к якорной цепи прецизионного электропривода, достигает максимально допустимого значения со знаком «минус» $-U_{дон}$. В момент времени t_1 первая производная тока якорной цепи прецизионного электропривода достигает максимального значения $I_{Я\max}^{(1)}$; в момент времени $(2t_1 + t_2 + t_3)$ первая производная тока якорной цепи прецизионного электропривода равна минимальному значению $I_{Я\max}^{(1)}$. На первом и втором этапах ток якорной цепи прецизионного электропривода увеличивается от значения, равного 0, до максимально допустимого значения $I_{дон}$, а на четвертом и пятом этапах – уменьшается от максимально допустимого значения до значения, равного 0. В момент времени $t = 0$ угловая скорость исполнительного органа прецизионного электропривода равна начальному значению $\omega_{нач}$, а в момент времени $(2t_1 + t_2 + 2t_3)$ равна конечному значению $\omega_{кон}$. На первом и втором этапах первая производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода увеличивается от нуля

до максимального значения $\omega_{\max}^{(1)}$, а на четвертом и пятом этапах уменьшается от максимального значения $\omega_{\max}^{(1)}$ до нуля. В момент времени t_1 вторая производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(2)}$; в момент времени $(2t_1 + t_2 + t_3)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна минимальному значению $\omega_{\max}^{(2)}$. На первом этапе третья производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода равна максимальному значению $\omega_{\max}^{(3)}$, на втором этапе третья производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(3)}$, на четвертом этапе третья производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода равна максимальному значению со знаком «минус» со «звездочкой» $-\omega_{\max}^{(3)*}$, на пятом этапе третья производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода равна максимальному значению со «звездочкой» $\omega_{\max}^{(3)*}$.

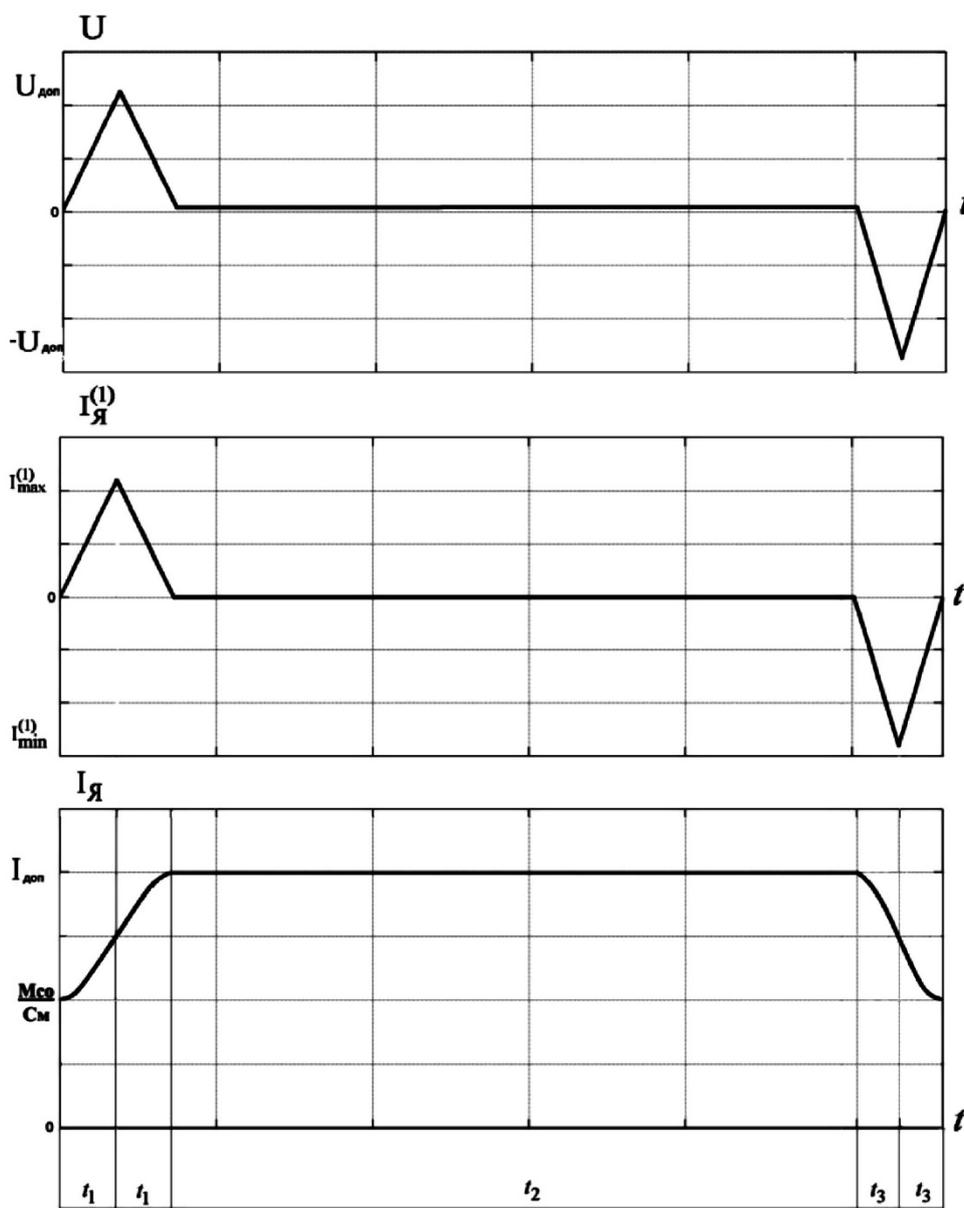


Рисунок 1 – Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока (электрические координаты)

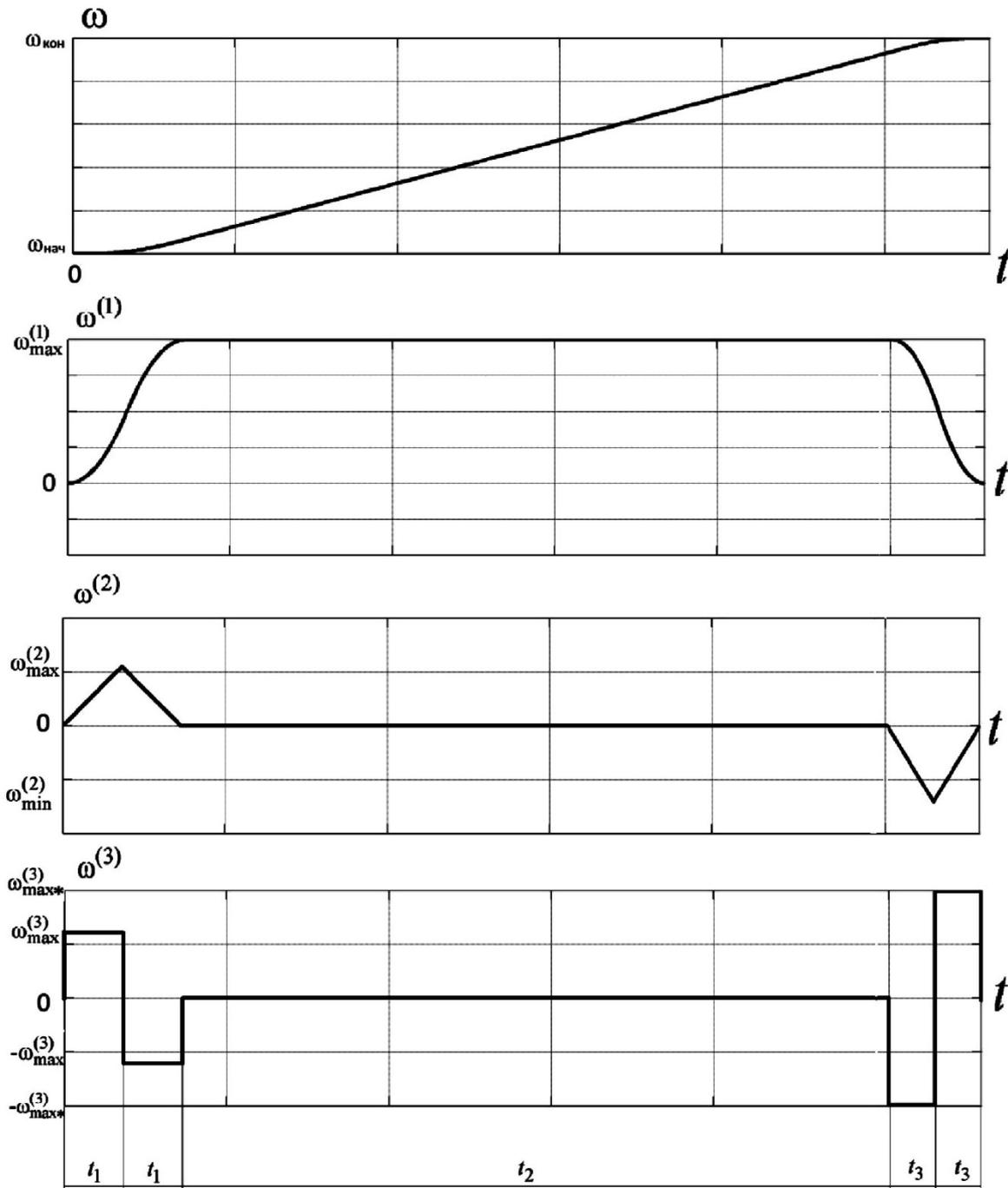


Рисунок 2 – Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока (механические координаты)

Для вышеуказанных диаграмм справедливы соотношения:

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

$$t_1 = \frac{3}{2} \cdot \left[\frac{2}{\omega_{max}^{(1)}} \cdot \left(\frac{U_{дон}}{C_e} - \omega_{нач} - \frac{R_J M_{CO}}{C_e C_M} \right) - \frac{R_J J}{C_e C_M} \right] \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{9}{4} \left[\frac{2}{\omega_{max}^{(1)}} \cdot \left(\frac{U_{дон}}{C_e} - \omega_{нач} - \frac{R_J M_{CO}}{C_e C_M} \right) - \frac{R_J J}{C_e C_M} \right]^2 - 6 \cdot \frac{L_J J}{C_e C_M}};$$

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

$$\omega_1 = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

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

$$t_3 = 3 \cdot \left[\frac{1}{\omega_{\max}^{(1)}} \cdot \left(\frac{U_{\text{дон}}}{C_e} + \omega_{\text{кон}} + \frac{R_{Я} M_{CO}}{C_e C_M} \right) + \frac{1}{2} \frac{R_{Я} J}{C_e C_M} \right] \pm$$

$$\pm \sqrt{9 \cdot \left[\frac{1}{\omega_{\max}^{(1)}} \cdot \left(\frac{U_{\text{дон}}}{C_e} + \omega_{\text{кон}} + \frac{R_{Я} M_{CO}}{C_e C_M} \right) + \frac{1}{2} \frac{R_{Я} J}{C_e C_M} \right]^2 - 6 \cdot \frac{L_{Я} J}{C_e C_M}};$$

$$\omega_{\max}^{(3)*} = \frac{\omega_{\max}^{(1)}}{t_3^2};$$

$$\omega_4 = \omega_{\text{кон}} - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_3;$$

$$\omega_3 = \omega_{\text{кон}} - \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_3;$$

$$t_2 = \frac{(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}})}{\omega_{\max}^{(1)}} \cdot t_1 - t_3;$$

$$T_{\Pi} = 2t_1 + t_2 + 2t_3;$$

$$I_{\max}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$I_{\min}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\min}^{(3)*} \cdot t_3.$$

Если $t_2 = 0$, то $(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}) = \omega_{\text{сп}}$, где $\omega_{\text{сп}}$ – граничное значение угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода.

Тогда:

$$t_3 = -\frac{3}{5} \left[\frac{1}{\omega_{\max}^{(1)}} \cdot \left(\frac{U_{\text{дон}}}{C_e} + \omega_{\text{нач}} + \frac{R_{Я} M_{CO}}{C_e C_M} \right) + t_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{Я} J}{C_e C_M} \right] \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{9}{25} \left[\frac{1}{\omega_{\max}^{(1)}} \cdot \left(\frac{U_{\text{дон}}}{C_e} + \omega_{\text{нач}} + \frac{R_{Я} M_{CO}}{C_e C_M} \right) + t_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{Я} J}{C_e C_M} \right]^2 + \frac{6}{5} \cdot \frac{L_{Я} J}{C_e C_M}};$$

$$\omega_{\min}^{(2)} = -\frac{\omega_{\max}^{(1)}}{t_1};$$

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

$$\omega_{\text{сп}} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot (t_1 + t_3).$$

В статье рассматривается электропривод, имеющие следующие параметры:

$$C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}; C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}; R_{\text{я}} = 5 \text{ Ом}; L_{\text{я}} = 0,1 \text{ Гн};$$

$$J = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; U_{\text{дон}} = 250 \text{ В}; I_{\text{дон}} = 8 \text{ А}; \omega_{\text{дон}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

где 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; J – момент инерции электропривода, кг·м².

Момент сопротивления электропривода $M_{\text{со}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

На рисунках 1 и 2 представлена близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока, на которой угловая скорость исполнительного органа электропривода изменяется на $(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}) = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ за время $T_{\text{ц}} = 0,02824059 \text{ с}$.

Остальные параметры диаграммы:

$$t_1 = 0,00181831 \text{ с}; t_2 = 0,02175941 \text{ с}; t_3 = 0,00142228 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = 21998,44911 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \omega_{\text{min}}^{(2)} = -2812,385747 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Проведён численный эксперимент. Получены все параметры близкой к оптимальной диаграммы для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока при различных значениях изменения угловой скорости исполнительного органа механизма $(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}})$. В таблице 1 представлены результаты численного эксперимента. По результатам численного эксперимента на рисунке 3 построена зависимость времени цикла $T_{\text{ц}}$ от изменения угловой скорости исполнительного органа электропривода $(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}})$.

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

$(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}), \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$T_{\text{ц}}, \text{ с}$	$\omega_{\text{min}}^{(2)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$
1	2	3	4	5	6
0	0,00181831	0	0,0014286	0,00324694	-21998,48
10		0,24681412	0,0013676	0,25318588	-21998,48
20		0,49687017	0,0013115	0,50312983	-21998,48
30		0,74692181	0,0012599	0,753078193	-21998,48
40		0,99696953	0,0012122	1,00303047	-21998,4
50		1,24701378	0,0011679	1,25298622	-21998,48
60		1,4970549	0,0011268	1,5029451	-21998,48
70		1,74709323	0,0010885	1,75290677	-21998,48
80		1,99712904	0,0010527	2,00287096	-21998,48
90		2,24716256	0,0010191	2,25283744	-21998,48
100		2,49719402	0,0009877	2,50280598	-21998,48

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
110	0,00181831	2,74722359	0,0009581	2,75277641	-21998,48
120		2,99725144	0,0009302	3,00274856	-21998,48
130		3,24727772	0,000904	3,25272228	-21998,48
140		3,49730256	0,0008791	3,50269744	-21998,48
150		3,74732606	0,0008556	3,75267394	-21998,48
160		3,99734835	0,0008333	4,00265165	-21998,48

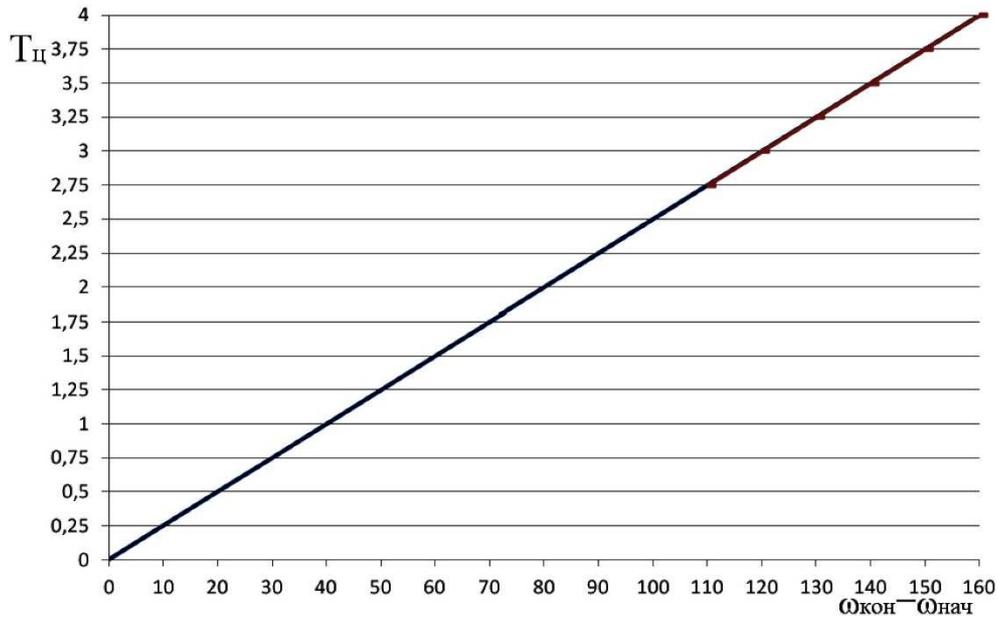


Рисунок 3 – Зависимость времени цикла $T_{ц}$ от изменения угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода ($\omega_{кон} - \omega_{нач}$).

Выводы

Таким образом, для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода разработана пятиэтапная близкая к оптимальным по быстродействию диаграмма.

Получено математическое обеспечение, позволяющее определить параметры пятиэтапной близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы для больших изменений угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода.