

УДК 62.83.52:62.503.56

UDC 62.83.52:62.503.56

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАССЫ ПРОТИВОВЕСА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

**ANALYSIS OF AN INFLUENCE OF A COUNTERWEIGHT ON ENERGY INDICATORS OF A DC MOTOR CYCLICALLY OPERATING MECHANISM**

Добробаба Юрий Петрович  
к.т.н., профессор

Dobrobaba Yurii Petrovitch  
Cand.Tech.Sci., professor

Живодров Тимур Сергеевич  
аспирант  
*Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия*

Zhivodrov Timur Sergeevich  
postgraduate student  
*Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia*

Определена зависимость экстремальной массы противовеса от механических параметров электропривода и диаграммы перемещения исполнительного органа

In the article we have determined the dependence of the extreme mass of the counterweight from mechanical drive parameters and chart movement of the executive body

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА, ПРОТИВОВЕС, ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Keywords: DC MOTOR, COUNTERWEIGHT, ENERGY SAVINGS

В тех случаях, когда обеспечивается перемещение рабочего органа механизма циклического действия по вертикальным или наклонным траекториям, используется подъёмная или тяговая лебёдка. По принципу работы лебёдки подразделяются на одноконцевые и двухконцевые, а по конструкции органа навивки каната – на барабанные лебёдки и лебёдки с канатоведущими шкивами [1].

Двухконцевые лебёдки имеют следующее преимущество по сравнению с одноконцевыми лебёдками: требуется значительно меньшая мощность электропривода – это обуславливается наличием балластного контргруза (противовеса). Противовес уравнивает подъёмное устройство и часть полезного груза. При этом значительно уменьшаются момент сопротивления электропривода и момент инерции электродвигателя. Динамический момент электропривода с двухконцевой лебёдкой определяется суммарным приведённым моментом инерции установки и допустимым ускорением. Следует отметить, что суммарный момент инерции электропривода при наличии противовеса увеличивается.

Таким образом, при наличии противовеса уменьшается момент сопротивления электропривода, но при этом увеличивается динамический момент электропривода.

Поэтому актуальна задача по определению влияния массы противовеса на энергетические показатели электроприводов механизмов циклического действия.

В данной работе анализируется влияние массы противовеса на энергетические показатели электроприводов постоянного тока механизмов циклического действия.

Математическая модель силовой части электропривода постоянного тока с двухконцевой лебёдкой без учёта влияния индуктивности якорной цепи электродвигателя и упругости канатов [2]:

$$U(t) = C_e w(t) + R_{я} I_{я}(t); \quad (1)$$

$$C_m I_{я}(t) = Rg \cdot (m_0 + m_{зп} - m_{нп}) + [J_{об} + R^2 \cdot (m_0 + m_{зп} + m_{нп})] \cdot w^{(1)}(t); \quad (2)$$

$$j^{(1)}(t) = w(t), \quad (3)$$

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

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

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

$j$  – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$C_e$  – коэффициент пропорциональности,  $\frac{В \cdot с}{рад}$ ;

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

$C_m$  – коэффициент пропорциональности, В · с;

$R$  – радиус приведения, м;

$m_0$  – масса грузозахватывающего устройства, кг;

$m_{gp}$  – масса груза, кг;

$m_{np}$  – масса противовеса, кг;

$J_{\partialв}$  – момент инерции исполнительного органа электродвигателя,  
кг·м<sup>2</sup>;

$g = 9,81 \frac{м}{с^2}$  – ускорение свободного падения.

Рассмотрим случай, при котором поднимается грузозахватывающее устройство и груз, а опускается только грузозахватывающее устройство.

На рисунке 1 представлена диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода. На рисунке 2 представлена диаграмма для больших перемещений исполнительного органа электропривода. На рисунках 1 и 2 приняты обозначения:

$j_{нач}$  – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$j_{кон}$  – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

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

$W_{\partialон}$  – максимально допустимое значение угловой скорости исполнительного органа электропривода,  $\frac{рад}{с}$ ;

$W_{\partialон}^{(1)}$  – максимально допустимое значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода,  $\frac{рад}{с^2}$ ;

$t_3$  – время загрузки, с;

$t_6$  – время выгрузки, с;

$t_1$  – время разгона (торможения) исполнительного органа электропривода, с ;

$t_2$  – время движения электропривода в установившемся режиме, с .

Для диаграммы, обеспечивающей малые перемещения исполнительного органа электропривода, справедливы соотношения:

$$t_1 = \sqrt{\frac{j_{кон} - j_{нач}}{w_{дон}^{(1)}}} ; \quad (4)$$

$$w_{max} = \sqrt{(j_{кон} - j_{нач}) \cdot w_{дон}^{(1)}} . \quad (5)$$

Область существования диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода

$$(j_{кон} - j_{нач}) \leq j_{зр} , \quad (6)$$

где  $j_{зр} = \frac{w_{дон}^2}{w_{дон}^{(1)}} .$

Для диаграммы, обеспечивающей большие перемещения исполнительного органа электропривода, справедливы соотношения:

$$t_1 = \frac{w_{дон}}{w_{дон}^{(1)}} ; \quad (7)$$

$$t_2 = \frac{j_{кон} - j_{нач}}{w_{дон}} - \frac{w_{дон}}{w_{дон}^{(1)}} . \quad (8)$$

Область существования диаграммы для больших перемещений исполнительного органа электропривода

$$j_{зр} \leq (j_{кон} - j_{нач}) . \quad (9)$$

Якорная цепь электропривода при малых перемещениях его исполнительного органа за цикл потребляет электроэнергию:

$$\begin{aligned}
 W = & \frac{C_e}{C_m} \cdot g m_{зр} \cdot (s_{кон} - s_{нач}) + \\
 & + 2 \cdot \frac{R_{я}}{C_m^2} \cdot R^2 \cdot (s_{кон} - s_{нач})^2 \cdot \left\{ g^2 \cdot (m_0 + m_{зр} - m_{нр})^2 \cdot a_{дон}^{-\frac{1}{2}} + \right. \\
 & + g^2 \cdot (m_0 - m_{нр})^2 \cdot a_{дон}^{-\frac{1}{2}} + \left[ \frac{J_{\partial \varepsilon}}{R^2} + (m_0 + m_{зр} + m_{нр}) \right]^2 \cdot a_{дон}^{\frac{3}{2}} + \\
 & \left. + \left[ \frac{J_{\partial \varepsilon}}{R^2} + (m_0 + m_{нр}) \right]^2 \cdot a_{дон}^{\frac{3}{2}} \right\}, \tag{10}
 \end{aligned}$$

где  $s_{нач} = Rj_{нач}$ ;  $s_{кон} = Rj_{кон}$ ;  $a_{дон} = R\omega_{дон}^{(1)}$ .

Анализ зависимости (10) показывает, что при массе противовеса

$$m_{нр.экстр} = \frac{\left( m_0 + \frac{1}{2} m_{зр} \right) \cdot g^2 - \left[ \frac{J_{\partial \varepsilon}}{R^2} + \left( m_0 + \frac{1}{2} m_{зр} \right) \right] \cdot a_{дон}^2}{g^2 + a_{дон}^2} \tag{11}$$

якорная цепь электропривода при малых перемещениях его исполнительного органа за цикл потребляет минимально возможное количество электроэнергии.

Якорная цепь электропривода при больших перемещениях его исполнительного органа за цикл потребляет электроэнергию:

$$\begin{aligned}
 W = & \frac{C_e}{C_m} \cdot g m_{зр} \cdot (s_{кон} - s_{нач}) + \\
 & + \frac{R_{я}}{C_m^2} \cdot R^2 \cdot \left\{ g^2 \cdot (m_0 + m_{зр} - m_{нр})^2 \cdot \left( \frac{s_{кон} - s_{нач}}{u_{дон}} + \frac{u_{дон}}{a_{дон}} \right) + \right. \\
 & + g^2 \cdot (m_0 - m_{нр})^2 \cdot \left( \frac{s_{кон} - s_{нач}}{u_{дон}} + \frac{u_{дон}}{a_{дон}} \right) + \\
 & + 2 \cdot \left[ \frac{J_{\partial \varepsilon}}{R^2} + (m_0 + m_{зр} + m_{нр}) \right]^2 \cdot u_{дон} a_{дон} + \\
 & \left. + 2 \cdot \left[ \frac{J_{\partial \varepsilon}}{R^2} + (m_0 + m_{нр}) \right]^2 \cdot u_{дон} a_{дон} \right\}, \tag{12}
 \end{aligned}$$

где  $u_{дон} = R\omega_{дон}$ .

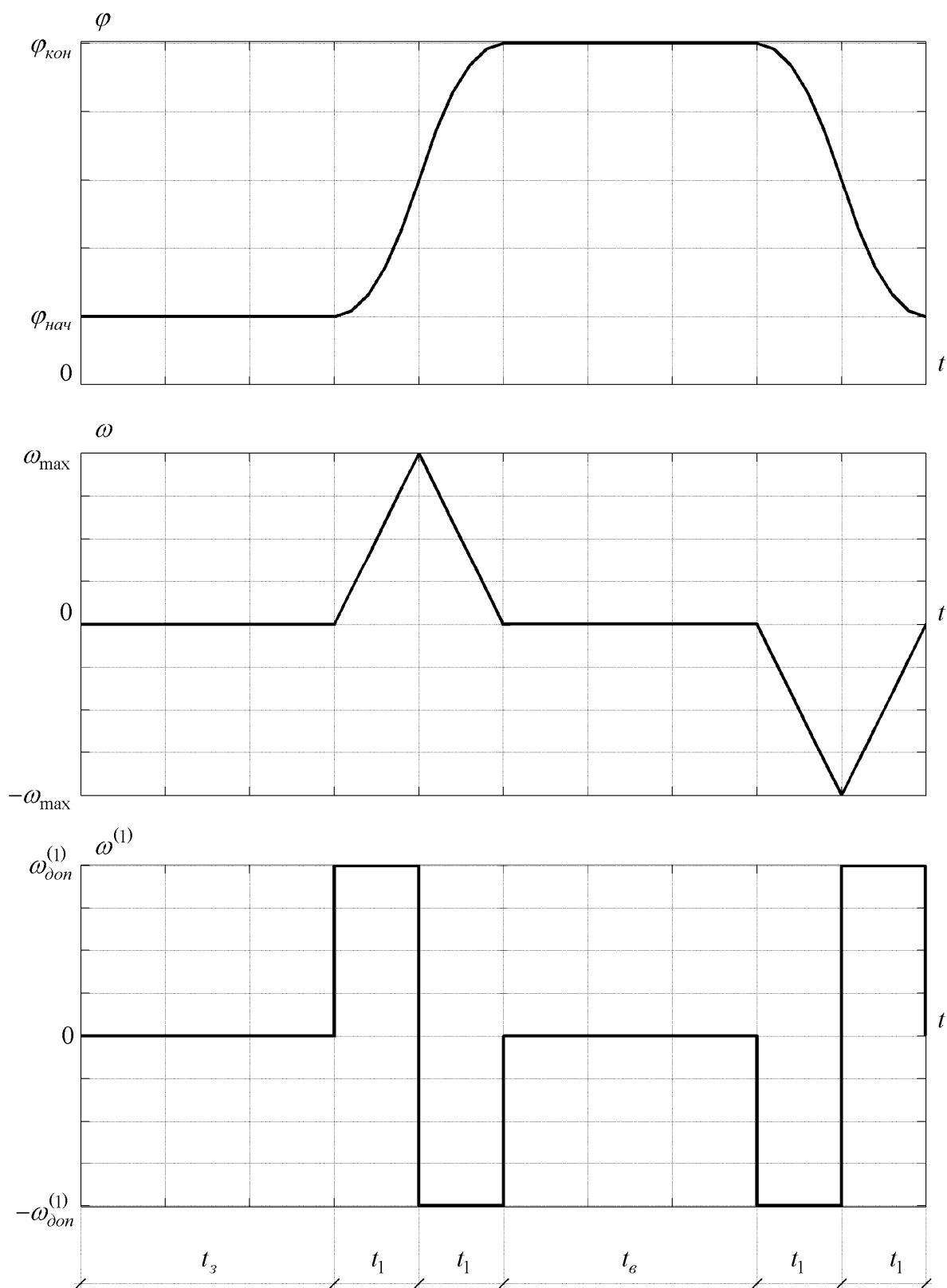


Рисунок 1

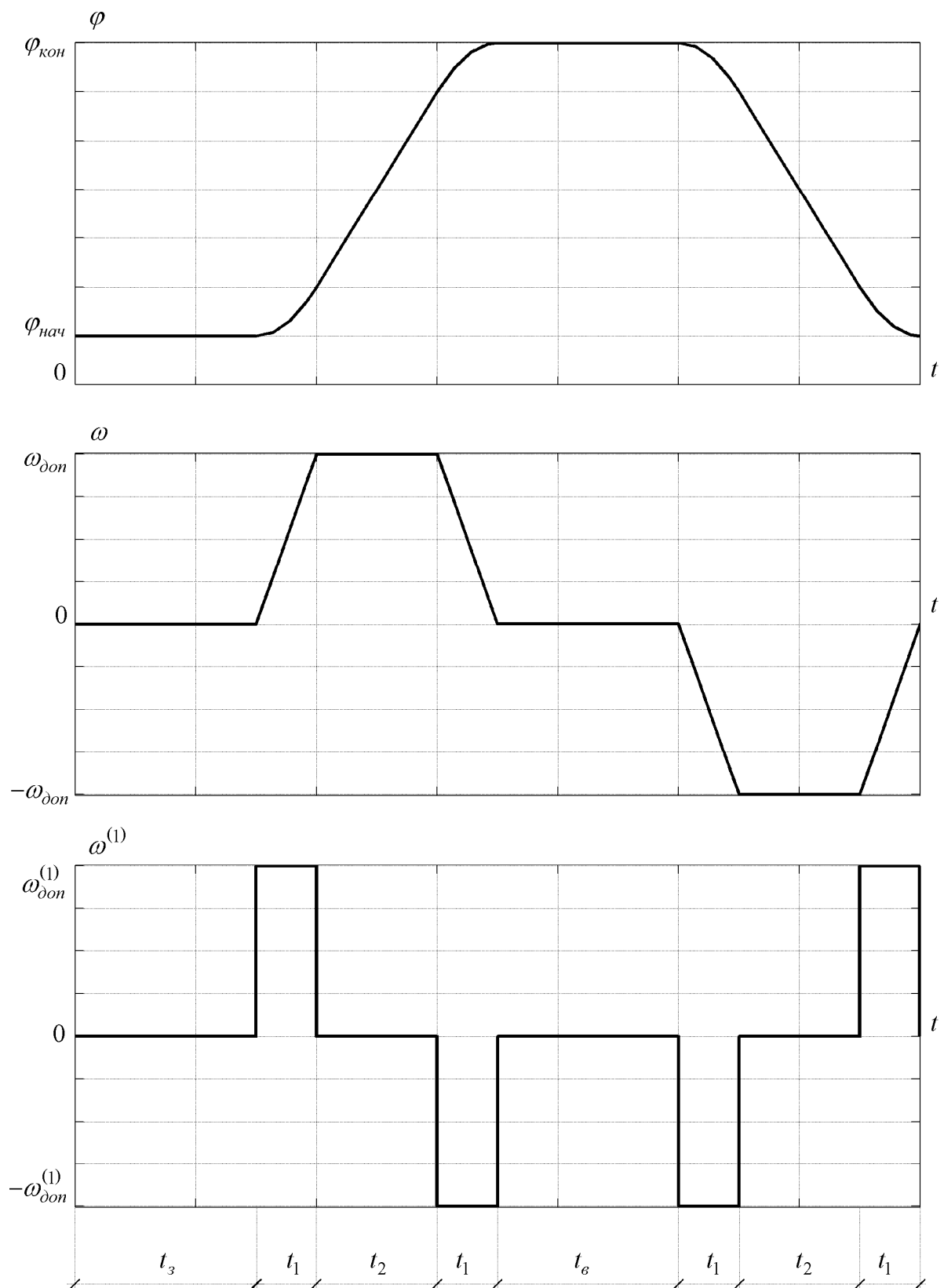


Рисунок 2

Анализ зависимости (12) показывает, что при массе противовеса

$$m_{пр.экстр} = \frac{\left(m_0 + \frac{1}{2}m_{зр}\right) \cdot g^2 \cdot \left(\frac{s_{кон} - s_{нач}}{u_{дон}} + \frac{u_{дон}}{a_{дон}}\right)}{g^2 \cdot \left(\frac{s_{кон} - s_{нач}}{u_{дон}} + \frac{u_{дон}}{a_{дон}}\right) + \frac{-2 \cdot \left[\frac{J_{дв}}{R^2} + \left(m_0 + \frac{1}{2}m_{зр}\right)\right] \cdot u_{дон} a_{дон}}{+2u_{дон} a_{дон}}} \rightarrow \quad (13)$$

якорная цепь электропривода при больших перемещениях его исполнительного органа за цикл потребляет минимально возможное количество электроэнергии.

Анализ зависимости (11) показывает, что при малых перемещениях исполнительного органа электропривода экстремальное значение массы

противовеса в относительных единицах  $\frac{m_{пр.экстр}}{m_0 + \frac{1}{2}m_{зр}}$  зависит от соотноше-

ния  $\frac{J_{дв}}{R^2}$  с  $\left(m_0 + \frac{1}{2}m_{зр}\right)$  и максимально допустимого ускорения в относи-

тельных единицах  $\frac{a_{дон}}{g}$ .

Анализ зависимости (13) показывает, что при больших перемещени-

ях исполнительного органа электропривода экстремальное значение массы противовеса в относительных единицах  $\frac{m_{пр.экстр}}{m_0 + \frac{1}{2}m_{зр}}$  зависит ещё и от вели-

чины перемещения в относительных единицах  $\frac{s_{кон} - s_{нач}}{s_{зр}} = \frac{s_{кон} - s_{нач}}{u_{дон}^2} \cdot a_{дон}$ .

Таким образом, при выполнении условия

$$(s_{кон} - s_{нач}) = s_{зр} = \frac{u_{дон}^2}{a_{дон}} \quad (14)$$

зависимость (13) принимает вид (11).



На рисунках 3 – 7 представлены зависимости экстремального значения массы противовеса в относительных единицах  $\frac{m_{пр.экстр}}{m_0 + \frac{1}{2}m_{зр}}$  от максимально допустимого ускорения исполнительного органа электропривода в относительных единицах  $\frac{a_{дон}}{g}$  для различных соотношений  $\frac{J_{дв}}{R^2}$  с  $\left(m_0 + \frac{1}{2}m_{зр}\right)$  и различных величин перемещения исполнительного органа электропривода. На рисунках 3 – 7 цифрами обозначены графики зависимостей соответственно:

$$1 - \text{при } \frac{s_{кон} - s_{нач}}{s_{зр}} = 1; \quad 2 - \text{при } \frac{s_{кон} - s_{нач}}{s_{зр}} = 2;$$

$$3 - \text{при } \frac{s_{кон} - s_{нач}}{s_{зр}} = 3; \quad 4 - \text{при } \frac{s_{кон} - s_{нач}}{s_{зр}} = 4;$$

$$5 - \text{при } \frac{s_{кон} - s_{нач}}{s_{зр}} = 5.$$

Анализ зависимостей, представленных на рисунках 3 – 7, показывает, что при прочих равных условиях с увеличением задания на перемещение исполнительного органа электропривода  $(s_{кон} - s_{нач})$  увеличивается экстремальное значение массы противовеса  $m_{пр.экстр}$ ; с увеличением максимально допустимого ускорения исполнительного органа электропривода  $a_{дон}$  уменьшается экстремальное значение массы противовеса  $m_{пр.экстр}$ .

### Выводы

Рассмотрены две диаграммы для малых и больших перемещений исполнительного органа электропривода с двухконцевой лебёдкой. Определены зависимости, позволяющие рассчитать электроэнергию, потребляемую якорной цепью электродвигателя. Найдены аналитические зависимости экстремального значения массы противовеса от параметров

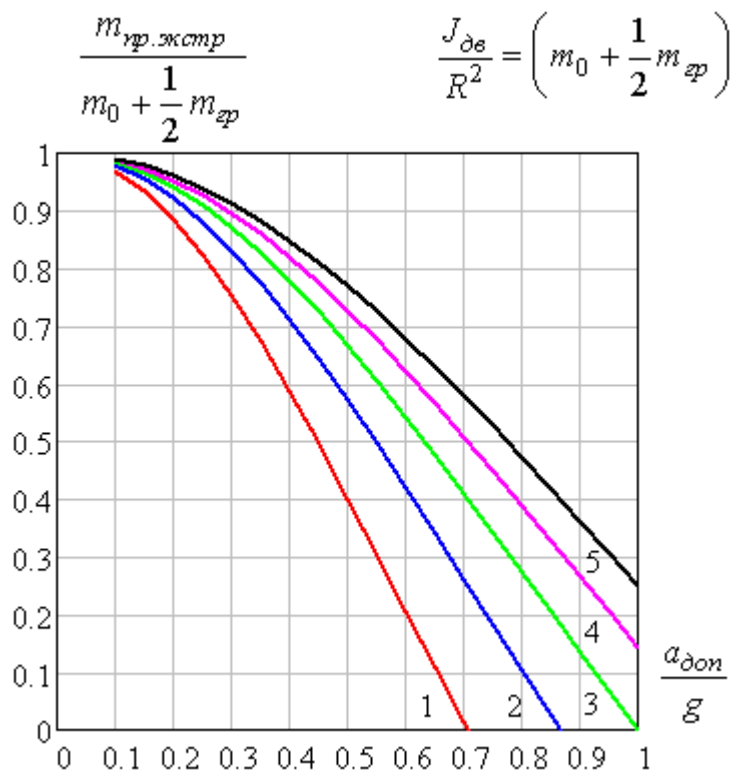


Рисунок 3

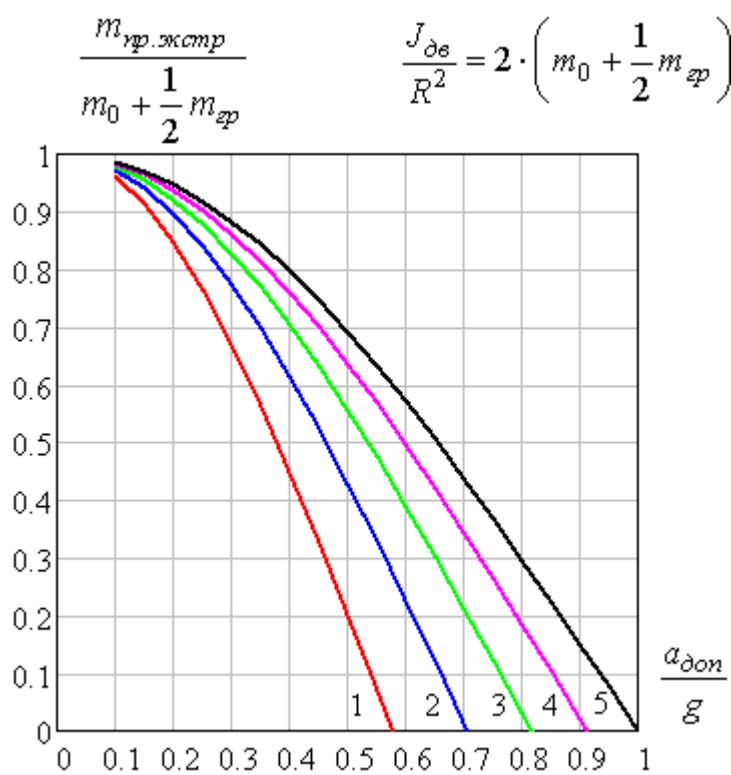


Рисунок 4

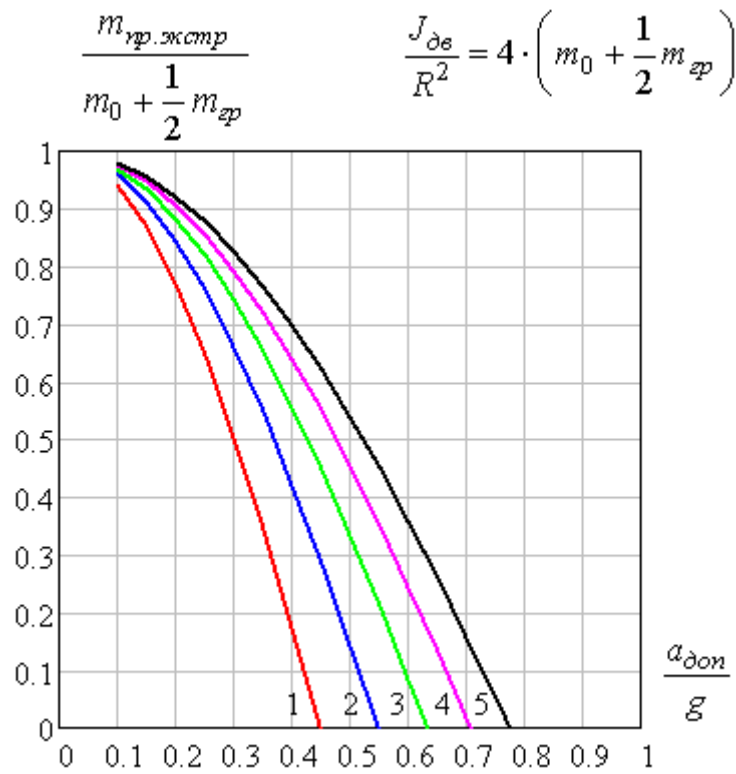


Рисунок 5

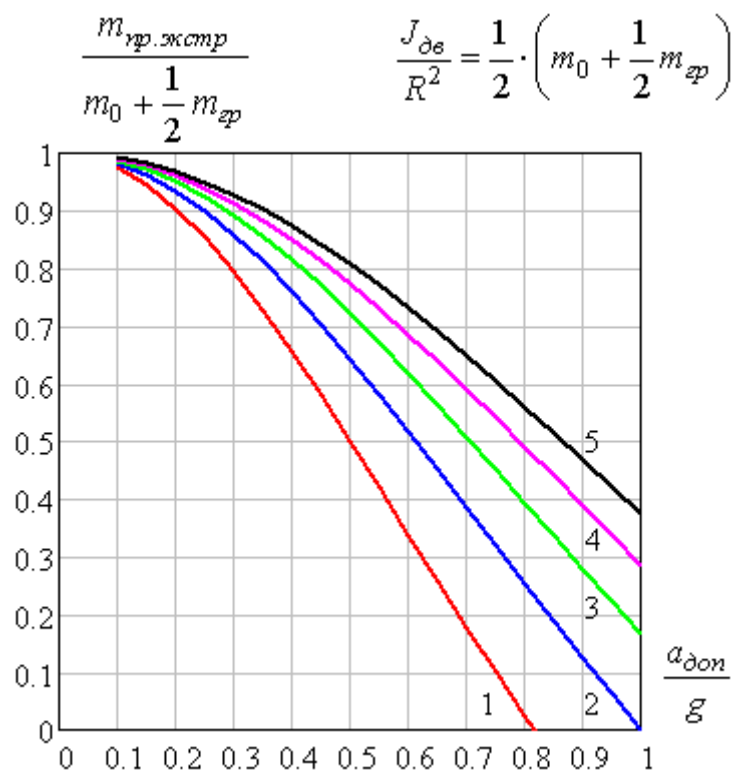


Рисунок 6

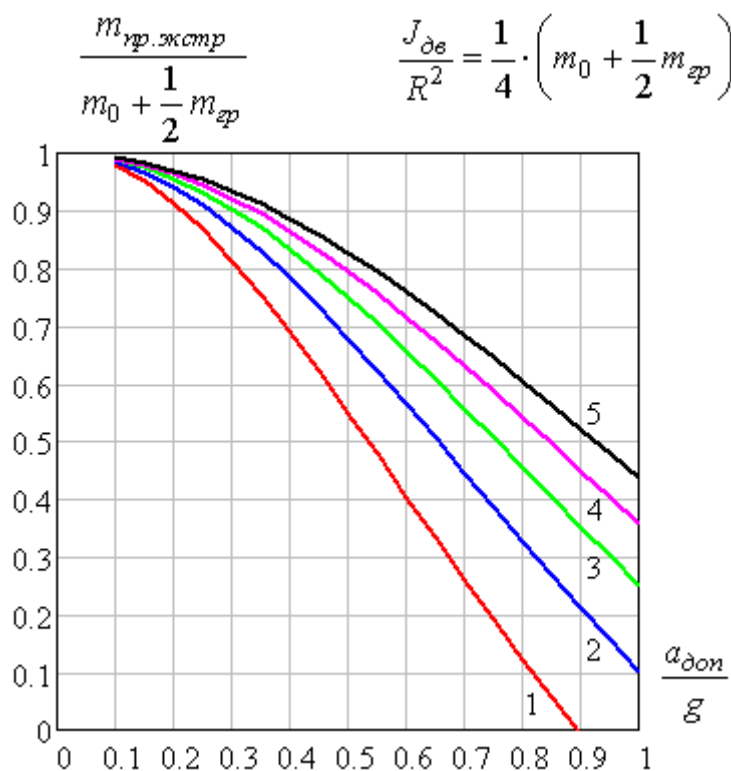


Рисунок 7

силовой части электропривода и диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода. Построены зависимости экстремального значения массы противовеса в относительных единицах от максимального допустимого ускорения исполнительного органа электропривода в относительных единицах для различных значений механических параметров силовой части электропривода и различных величинах перемещения исполнительного органа электропривода.

При выборе массы противовеса в соответствии с рекомендациями, изложенными в данной статье, электропривод постоянного тока механизмов циклического действия обеспечит экономию электроэнергии.

#### Список литературы

1. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с., ил.
2. Добрабаба Ю.П. Электрический привод. учеб. пособие /Кубан. гос. технол. ун-т. Краснодар: Изд-во ФГБОУ ВПО “КубГТУ”, 2013. – 302 с., ил.

#### References

1. Kljuhev V.I., Terehov V.M. Jelektroprivod i avtomatizacija obshhepromyshlennyh mehanizmov: Uchebnik dlja vuzov. – M.: Jenergija, 1980. – 360 s., il.

2. Dobrobaba Ju.P. Jelektricheskiy privod. ucheb. posobie /Kuban. gos. tehnol. un-t. Krasnodar: Izd-vo FGBOU VPO “KubGTU”, 2013. – 302 s., il.