

*АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАССЫ ПРОТИВОВЕСА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА  
ПРИ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ИХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ*

**Ю.П. ДОБРОБАБА, Т.С. ЖИВОДРОВ, С.Г. МИРОНЮК**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: s.mir2393@gmail.com*

В статье анализируются энергетические параметры подъемно-транспортных электроприводов с асинхронным двигателем и частотным преобразователем. Электропривод осуществляет требуемое перемещение с заданным ускорением (при движении вверх электропривод поднимает груз, а при движении вниз груз отсутствует). Определены экстремальные значения массы противовеса, при которых электропривод обеспечивает заданное перемещение с минимальным потреблением электроэнергии из сети за цикл.

**Ключевые слова:** электрический привод переменного тока, малые перемещения, масса противовеса, энергетические параметры.

Простота и надежность двигателей переменного тока привела к их широкому распространению в различных отраслях промышленности. В настоящее время для управления перемещением исполнительных органов механизмов циклического действия используется электропривод с асинхронным двигателем и частотным преобразователем. При этом частотный преобразователь осуществляет векторное управление асинхронным двигателем, обеспечивая перемещение за минимально возможное время. С целью уменьшения потребляемой электроэнергии в электроприводах, осуществляющих вертикальное перемещение исполнительного органа, используется противовес. Поэтому актуальна задача определения влияния массы противовеса на энергетические показатели электропривода с двигателем переменного тока и частотным преобразователем с целью уменьшения потребляемой им электроэнергии из сети.

Данная работа посвящена анализу влияния массы противовеса на энергетические показатели электропривода с двигателем переменного тока при малых перемещениях исполнительных органов механизмов циклического действия.

Математическая модель силовой части электропривода переменного тока двухконцевой лебедки имеет вид

$$M(t) = Rg \cdot (m_0 + m_{zp} - m_{np}) + [J_{\partial\partial} + R^2 \cdot (m_0 + m_{zp} + m_{np})] \cdot \omega^{(1)}(t); \quad (1)$$

$$\varphi^{(1)}(t) = \omega(t), \quad (2)$$

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

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

$R$  – радиус приведения,  $м$ ;

$m_0$  – масса грузозахватывающего устройства,  $кг$ ;

$m_{zp}$  – масса груза,  $кг$ ;

$m_{np}$  – масса противовеса,  $кг$ ;

$J_{\partial\partial}$  – момент инерции исполнительного органа электродвигателя,  $кг \cdot м^2$ ;

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

При движении вверх электропривод осуществляет подъем груза  $m_{zp}$ , а при движении вниз груз отсутствует, т. е. в уравнении (1) при спуске  $m_{zp} = 0$ .

При движении исполнительного органа электропривода переменного тока, если управление осуществляется по закону [1]

$$\omega_0(t) = Z\omega(t) + \frac{2}{3} \cdot \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{M_{12}} \cdot \left[ \frac{4}{9} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{(L_2 + M_2)^2}{M_{12}^2} + 1 \right]^{-0,5}, \quad (3)$$

то для потребляемой из сети мощности справедлива зависимость [1]

$$P(t) = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{ZM_{12}} \cdot \left[ \frac{4}{9} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{(L_2 + M_2)^2}{M_{12}^2} + 1 \right]^{0,5} \cdot |M(t)| + M(t) \cdot \omega(t). \quad (4)$$

Для управления электроприводом подъемно-транспортных машин используются две оптимальные по быстрдействию диаграммы: для малых перемещений исполнительного органа (без ограничения по скорости) и для больших перемещений исполнительного органа (с ограничением по скорости).

На рис. 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа подъемно-транспортного электропривода. Приняты обозначения:

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

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

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

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

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

$t_3$  – время загрузки, *с*;

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

$t_6$  – время выгрузки, *с*.

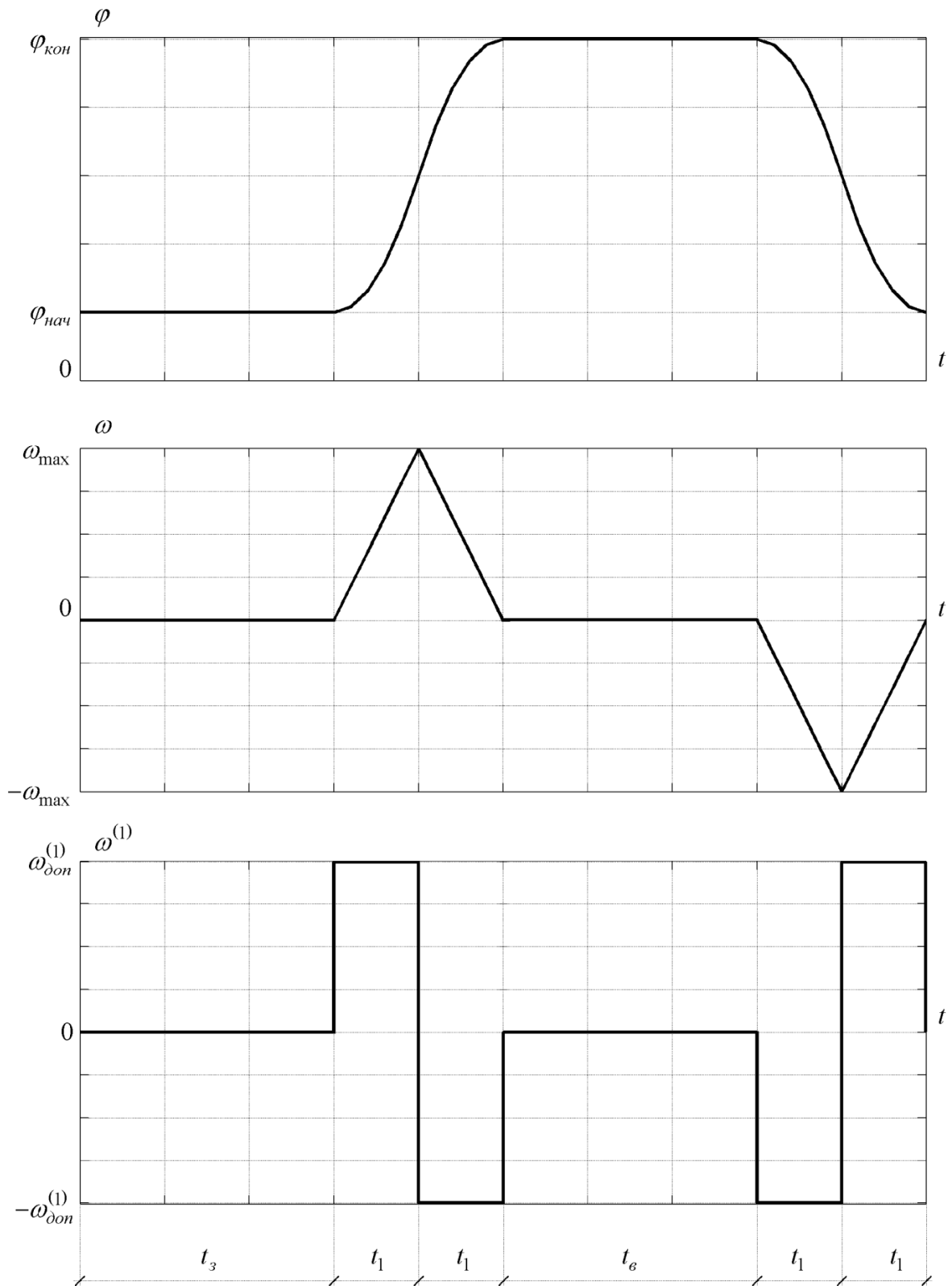


Рис. 1

В случае, когда управление электроприводом осуществляется по диаграмме, обеспечивающей малые перемещения исполнительного органа (рис. 1), потребленная за цикл энергия определяется по формуле:

$$W = gm_{гр} \cdot (s_{кон} - s_{нач}) + \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{ZM_{12}} \cdot \sqrt{\left[ \frac{4}{9} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{(L_2 + M_2)^2}{M_{12}^2} + 1 \right]} \cdot (s_{кон} - s_{нач}) \cdot g \cdot RK, \quad (5)$$

где  $K = \left| (m_0 + m_{гр} - m_{пр}) \cdot \sqrt{\frac{g}{a_{доп}}} + \left( \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + m_0 + m_{гр} + m_{пр} \right) \cdot \sqrt{\frac{a_{доп}}{g}} \right| + \left| (m_0 + m_{гр} - m_{пр}) \cdot \sqrt{\frac{g}{a_{доп}}} - \left( \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + m_0 + m_{гр} + m_{пр} \right) \cdot \sqrt{\frac{a_{доп}}{g}} \right| + \left| (m_0 - m_{пр}) \cdot \sqrt{\frac{g}{a_{доп}}} + \left( \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + m_0 + m_{пр} \right) \cdot \sqrt{\frac{a_{доп}}{g}} \right| + \left| (m_0 - m_{пр}) \cdot \sqrt{\frac{g}{a_{доп}}} - \left( \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} + m_0 + m_{пр} \right) \cdot \sqrt{\frac{a_{доп}}{g}} \right|.$

Проведенные исследования позволили определить экстремальное значение массы противовеса  $m_{пр.экстр}$ , при которой коэффициент  $K$  имеет минимальное значение и, следовательно, потребляется минимальное значение электроэнергии из сети за цикл.

Если  $a_{доп} \leq a_{доп.кр}$ , то

$$m_{пр.экстр1} \leq m_{пр.экстр} \leq m_{пр.экстр2}, \quad (6)$$

где  $a_{доп.кр} = \frac{\left( 2m_0 + m_{гр} + \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} \right) - \sqrt{\left( 2m_0 + m_{гр} + \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} \right)^2 - m_{гр}^2}}{m_{гр}} \cdot g;$

$$m_{пр.экстр1} = \left[ m_0 \cdot \frac{g + a_{доп}}{g - a_{доп}} + \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} \cdot \frac{a_{доп}}{g - a_{доп}} \right];$$

$$m_{пр.экстр2} = \left[ (m_0 + m_{гр}) \cdot \frac{g - a_{доп}}{g + a_{доп}} - \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} \cdot \frac{a_{доп}}{g + a_{доп}} \right].$$

Как следует из условий (6), экстремальное значение массы противовеса может принимать любое значение от  $m_{пр.экстр.1}$  до  $m_{пр.экстр.2}$ . При этом электроэнергия, потребляемая из сети, остается минимальной и неизменной.

Однако следует выбирать противовес меньшей массы, так как он стоит дешевле, чем противовес большей массы.

Если  $a_{доп.кр} \leq a_{доп} \leq a_{доп*}$ , то

$$m_{пр.экстр} = \left[ (m_0 + m_{гр}) \cdot \frac{g - a_{доп}}{g + a_{доп}} - \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} \cdot \frac{a_{доп}}{g + a_{доп}} \right], \quad (7)$$

$$\text{где } a_{доп*} = \frac{m_0 + m_{гр}}{m_0 + m_{гр} + \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2}} \cdot g.$$

Если  $a_{доп*} \leq a_{доп}$ , то

$$m_{пр.экстр} = 0. \quad (8)$$

При выполнении условия (9) противовес в электроприводе не требуется.

На рис. 2–4 представлены зависимости экстремального значения массы противовеса в относительных единицах  $\frac{m_{пр.экстр}}{m_0}$  от максимально допустимого

ускорения исполнительного органа электропривода в относительных единицах  $\frac{a_{доп}}{g}$  для различных соотношений  $\frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2}$  с  $m_0$ . На рис. 2–4 цифрами обозначены

графики зависимостей соответственно:

$$1 - \text{при } \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} = 4m_0; \quad 2 - \text{при } \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} = 2m_0;$$

$$3 - \text{при } \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} = m_0; \quad 4 - \text{при } \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} = \frac{1}{2}m_0;$$

$$5 - \text{при } \frac{J_{\partial\epsilon}}{R^2} = \frac{1}{4}m_0.$$

Анализ зависимостей (6)–(8), представленных на рис. 2–4, показывает, что:

- если  $a_{доп}$  стремится к нулю, то  $m_{пр.экстр.1}$  стремится к  $m_0$ , а  $m_{пр.экстр.2}$  стремится к  $(m_0 + m_{зр})$  при любых значениях момента инерции исполнительного органа электропривода  $J_{дв}$ ;
- если  $a_{доп} \leq a_{доп.кр}$ , то при увеличении  $a_{доп}$  первое экстремальное значение массы противовеса  $m_{пр.экстр.1}$  увеличивается, а второе экстремальное значение массы противовеса  $m_{пр.экстр.2}$  уменьшается при данном значении момента инерции исполнительного органа электродвигателя  $J_{дв}$ ;
- если  $a_{доп.кр} \leq a_{доп} \leq a_{доп*}$ , то при увеличении  $a_{доп}$  первое экстремальное значение массы противовеса  $m_{пр.экстр}$  уменьшается при данном значении момента инерции исполнительного органа электродвигателя  $J_{дв}$ ;
- если  $a_{доп*} \leq a_{доп}$ , то противовес в электроприводе не требуется;
- если  $J_{дв}$  уменьшается, то значения  $a_{доп.кр}$  и  $a_{доп*}$  увеличиваются.

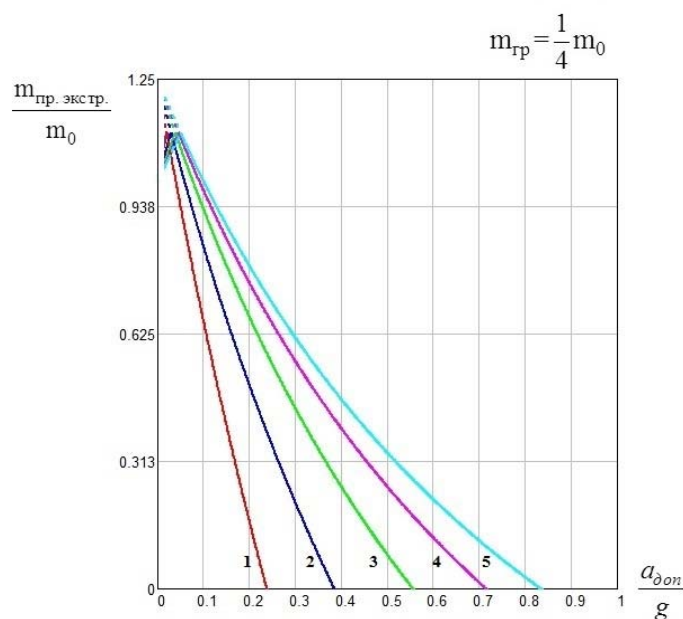


Рис. 2

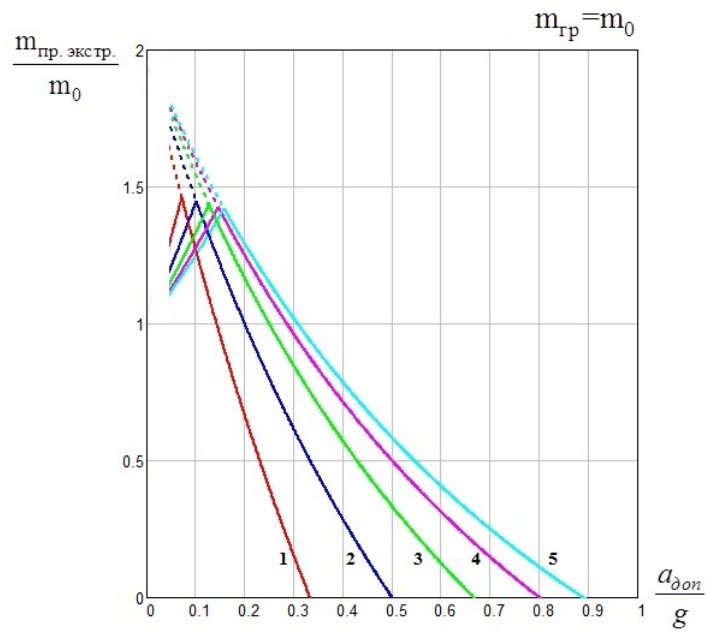


Рис. 3

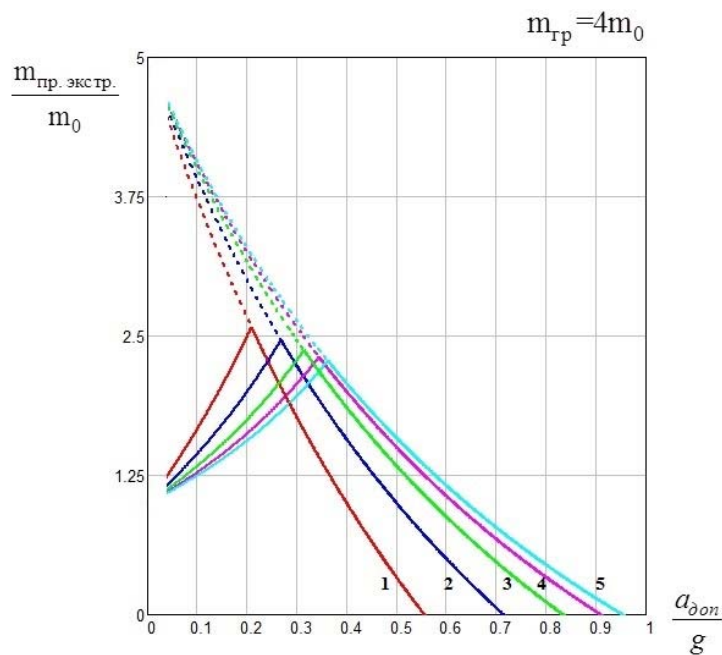


Рис. 4

### ВЫВОДЫ

Рассмотрена диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока двухконцевой лебедки. Определена



зависимость, позволяющая рассчитать электроэнергию, потребляемую электроприводом из сети за цикл. Найдены аналитические зависимости экстремального значения массы противовеса от параметров силовой части электропривода и допустимого ускорения исполнительного органа электропривода. Построены зависимости экстремального значения массы противовеса в относительных единицах от максимально допустимого ускорения исполнительного органа электропривода в относительных единицах для различных значений механических параметров силовой части электропривода.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Добробаба Ю.П., Шаповало А.А., Барандыч Вик.Ю.** Управление электроприводом с асинхронным двигателем и частотным преобразователем по минимуму потерь мощности в обмотках статора и ротора // Изв. вузов. Пищевая технология. 2009. № 2–3, С. 90–92.

#### REFERENCES

1. Dobrobaba Yu.P., Shapovalov A.A., Barandych Vick.Yu., *Izv. vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2009, no. 2–3, pp. 90–92.

*Поступила 24.03.14 г.*

#### *ANALYSIS OF INFLUENCE OF MASS OF THE COUNTERBALANCE ON POWER PARAMETERS OF ELECTRIC DRIVES OF ALTERNATING CURRENT AT SMALL MOVEMENTS THEIR EXECUTIVE BODIES*

**YU.P. DOBROBABA, T.S. ZHIVODROV, S.G. MIRONYUK**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072; e-mail: s.mir2393@gmail.com*

In article power parameters of hoisting-and-transport electric drives with the asynchronous engine and the frequency converter are analyzed. The electric drive carries out demanded movement with the set acceleration (at movement up the electric drive lifts freight, and at movement down freight is absent). Extreme values of mass of a counterbalance at which the electric drive provides the set movement with the minimum electricity consumption from a network for a cycle are defined.

**Key words:** electric drive of alternating current, small movements, mass of counterbalance, power parameters.