

## РАСЧЕТ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА ТРАМВАЙНОГО ПАНТОГРАФА

**Б.А. Лопатин, Д.Н. Казарцев**

Рассмотрен расчет вращающего момента электромеханического привода плоского трехзвенного рычажного механизма трамвайного пантографа. Механизм предназначен для осуществления токосъема и электропитания трамваев от контактной сети. В процессе подъема и опускания механизма необходимо обеспечить требуемый закон изменения вращающего момента в зависимости от угла поворота ведущего звена.

*Ключевые слова:* плоский рычажный механизм, электромеханический привод, пантограф.

Для осуществления токосъема и электропитания трамваев, производимых Усть-Катавским вагоностроительным заводом, применяется трехзвенный рычажный механизм, называемый в дальнейшем пантографом (рис. 1).

Пантограф прижимается к контактному проводу за счет пружины растяжения 1, соединенной цепью 2 с кулачком 3, жестко закрепленным на рычаге  $O_1A$ . Для обеспечения постоянного усилия прижатия контактных пластин пантографа к контактному проводу при различном угловом положении ведущего звена  $O_1A$  необходимо знать профиль кулачка, который будет обеспечивать от усилия пружины требуемое значение момента ведущего звена  $O_1A$  пантографа.

Целью данной работы являлось определение зависимости вращающего момента  $M_1$  привода от угла поворота  $\varphi_1$  ведущего звена механизма.

Составим схему сил, действующих на элементы пантографа в процессе его движения, и покажем векторы скоростей точек приложения сил (рис. 2).

Запишем уравнение возможных мощностей [1] для произвольного положения механизма:

$$M_1 \cdot \omega_1 - G_1 \cdot V_1 \cdot \cos \varphi_1 - G_2 \cdot V_2 \cdot \cos \varphi_2 - G_3 \cdot V_3 \cdot \cos \varphi_3 - (P + G) \cdot V_0 \cdot \cos \varphi_0 = 0. \quad (1)$$

Вычислим углы, определяющие положение звеньев механизма в зависимости от угла поворота  $\varphi_1$  ведущего звена.

Постоянный угол

$$\beta = \arctg \frac{b}{a}. \quad (2)$$

Расстояние между опорами

$$d = O_1 \cdot O_2 = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (3)$$

Из треугольника  $O_1AO_2$

$$k = \sqrt{l_1^2 + d^2 - 2l_1 \cdot d \cdot \cos(\varphi_1 + \beta)}. \quad (4)$$

Из треугольника  $O_2AB$ :

$$\beta_1 = \arccos \left( \frac{k^2 + l_2^2 - C^2}{2k \cdot l_2} \right); \quad (5)$$

$$\beta_3 = \arccos \left( \frac{k^2 + C^2 - l_2^2}{2k \cdot C} \right). \quad (6)$$

В треугольнике  $O_1AO_2$ :

$$\beta_5 = \arcsin \left( \frac{d \cdot \sin(\varphi_1 + \beta)}{k} \right); \quad (7)$$

$$\beta_2 = 180^\circ - \varphi_1 - \beta - \beta_5. \quad (8)$$

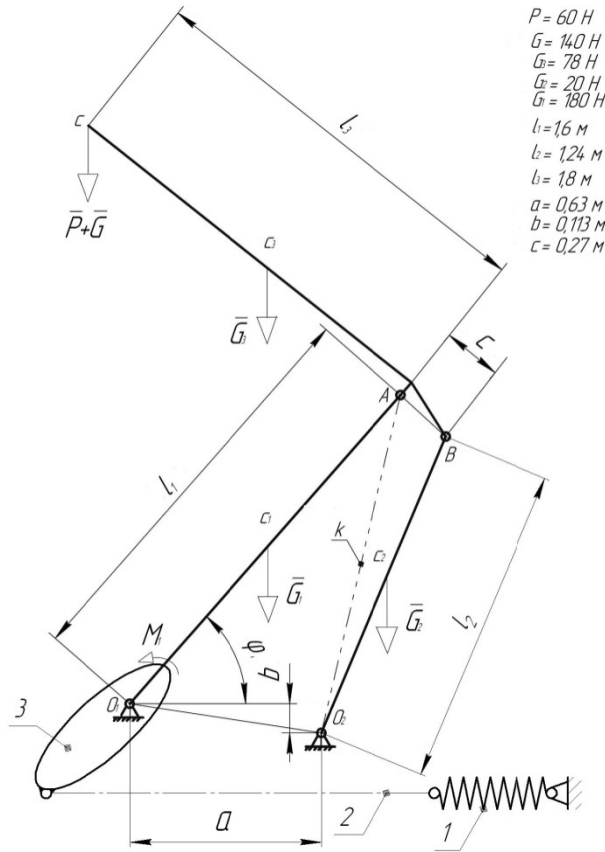


Рис. 1

$P = 60 \text{ H}$   
 $G = 140 \text{ H}$   
 $G_1 = 78 \text{ H}$   
 $G_2 = 20 \text{ H}$   
 $G_3 = 180 \text{ H}$   
 $l_1 = 1,6 \text{ м}$   
 $l_2 = 1,24 \text{ м}$   
 $l_3 = 1,8 \text{ м}$   
 $a = 0,63 \text{ м}$   
 $b = 0,113 \text{ м}$   
 $c = 0,27 \text{ м}$

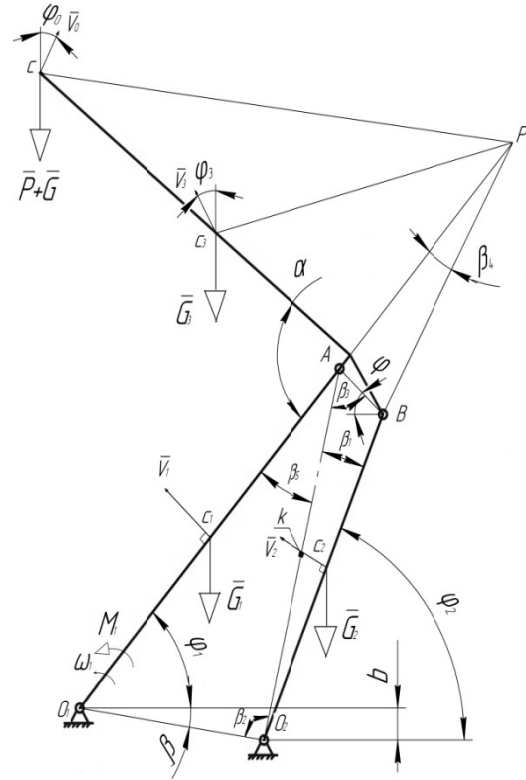


Рис. 2

Угол поворота звена  $O_2B$  относительно горизонтали

$$\varphi_2 = 180^\circ - \beta - \beta_1 - \beta_2. \quad (9)$$

Угол наклона звена  $BC$  относительно горизонтали

$$\varphi = 180^\circ - \beta_1 - \varphi_2 - \beta_3. \quad (10)$$

Точка  $P$  является мгновенным центром скоростей (МЦС) звена  $BC$ , тогда угол между звеньями  $O_1A$  и  $O_2B$ :

$$\beta_4 = \varphi_2 - \varphi_1, \quad (11)$$

угол между звеньями  $O_1A$  и  $BC$ :

$$\alpha = \varphi_1 + \varphi. \quad (12)$$

Из треугольника  $O_1PO_2$  вычислим расстояния от опор конструкции до мгновенного центра скоростей  $P$ :

$$O_1P = \frac{d \cdot \sin(\beta_2 + \beta_1)}{\sin \beta_4}; \quad (13)$$

$$O_2P = \frac{d \cdot \sin(\varphi_1 + \beta)}{\sin \beta_4}. \quad (14)$$

Вычислим расстояния от точек приложения сил до МЦС звена  $BC$ :

$$AP = O_1P - l_1; \quad (15)$$

$$BP = O_2P - l_2; \quad (16)$$

$$PC = \sqrt{AP^2 + l_3^2 - 2AP \cdot l_3 \cdot \cos(180^\circ - \alpha)}; \quad (17)$$

$$PC_3 = \sqrt{AP^2 + (0,5l_3)^2 - 2AP \cdot 0,5l_3 \cdot \cos(180^\circ - \alpha)}. \quad (18)$$

Определим углы между направлениями сил и скоростей звена  $BC$ :

$$\varphi_3 = \varphi_1 - \arcsin\left(\frac{0,5l_3 \cdot \sin(180^\circ - \alpha)}{PC_3}\right); \quad (19)$$

$$\varphi_0 = \arcsin\left(\frac{l_3 \cdot \sin(180^\circ - \alpha)}{PC}\right). \quad (20)$$

Выразим скорости точек приложения сил через угловую скорость  $\omega_1$  ведущего звена:

$$V_1 = \omega_1 \cdot 0,5l_1; \quad (21)$$

$$V_2 = \frac{\omega_1 \cdot l_1}{AP} \cdot \frac{BP}{2}; \quad (22)$$

$$V_3 = \frac{\omega_1 \cdot l_1}{AP} \cdot PC_3; \quad (23)$$

$$V_0 = \frac{\omega_1 \cdot l_1}{AP} \cdot PC. \quad (24)$$

Подставляя полученные выражения (15)–(24) в уравнение (1) и учитывая, что угол между направлением скорости  $\vec{V}_1$  и силы  $\vec{G}_1$  равен  $\varphi_1$ , а между вектором скорости  $\vec{V}_2$  и силой  $\vec{G}_2$  –  $\varphi_2$ , получаем:

$$\begin{aligned} M_1 \cdot \omega_1 - G_1 \cdot \omega_1 \cdot 0,5l_1 \cdot \cos \varphi_1 - G_2 \cdot \frac{\omega_1 \cdot l_1 \cdot BP}{AP \cdot 2} \cdot \cos \varphi_2 - \\ - G_3 \cdot \frac{\omega_1 \cdot l_1 \cdot PC_3}{AP} \cdot \cos \varphi_3 - (P + G) \cdot \frac{\omega_1 \cdot l_1 \cdot PC}{AP} \cdot \cos \varphi_0 = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Окончательно запишем уравнение зависимости вращающего момента от угла поворота  $\varphi_1$  ведущего звена 1 механизма:

$$\begin{aligned} M_1 = G_1 \cdot 0,5l_1 \cdot \cos \varphi_1 + G_2 \cdot 0,5l_1 \cdot \frac{BP}{AP} \cdot \cos \varphi_2 + G_3 \cdot l_1 \cdot \frac{PC}{AP} \cdot \cos \varphi_3 + \\ + (P + G) \cdot l_1 \cdot \frac{PC}{AP} \cdot \cos \varphi_0. \end{aligned} \quad (26)$$

Вычисляя вращающий момент, в заданном диапазоне изменения угла поворота ведущего звена, принимая силу реакции контактного провода  $P = 0$ , пренебрегая силами трения в шарнирах, получаем график зависимости момента привода пантографа  $M_{II} = M_1(\varphi_1)$  (рис. 3).

По результатам расчета был подобран профиль кулачка передаточного механизма привода пантографа, учитывающий момент от силы упругости пружины, и обеспечивающий требуемое изменение вращающего момента привода пантографа, при изменении угла поворота ведущего звена от 2 до 48°.

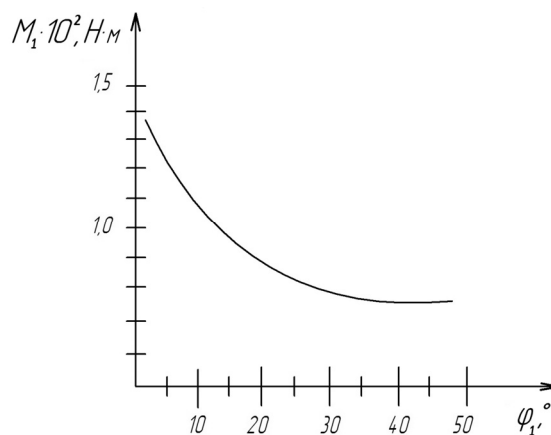


Рис. 3

### Литература

1. Тарг, С.М. Курс теоретической механики: учебник для вузов / С.М. Тарг. – 13-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2009. – С. 357–367.

**Лопатин Борис Александрович.** Доктор технических наук, профессор, почетный работник науки и техники Р.Ф., заведующий кафедрой «Техническая механика», Южно-Уральский госу-

## Расчет и конструирование

---

дарственный университет, филиал в г. Златоусте. Область научных интересов – машиноведение и детали машин, технология машиностроения, зубчатые передачи. E-mail: lopatinba@rambler.ru

**Казарцев Дмитрий Николаевич.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика», Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте. Область научных интересов – машиноведение и детали машин, структурный и кинематический анализ и синтез механизмов. E-mail: dnk54@mail.bk.ru

---

## TORQUE OF ELECTROMECHANICAL ACTUATOR FOR TRAM PANTOGRAPH CALCULATION

*B.A. Lopatin, D.N. Kazartsev*

Electromechanical drive torque of the 3-bar planar lever mechanism of a pantograph is designated for tram current pick-off and electric power supply from the contact system. In the process of lifting and lowering of the mechanism it is necessary to provide the torque change law required depending on the turning angle of a driving bar.

*Keywords: the planar lever mechanism, electromechanical drive, pantograph.*

**Boris A. Lopatin.** The doctor of technical sciences, professor, honored worker of Science and Technology in Russia, head of the «Technical mechanics», South Ural State University branch in Zlatoust. The area of scientific interests – machine science, machine components, manufacturing engineering and gears. E-mail: lopatinba@rambler.ru

**Dmitriy N. Kazartsev.** The candidate of engineering science, assistant professor of the «Technical mechanics», South Ural State University branch in Zlatoust. The area of scientific interests are machine science, machine components the structural kinematic analysis and synthesis of mechanisms. E-mail: dnk54@mail.bk.ru

*Поступила в редакцию 6 июля 2012 г.*