

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Гребенюк, П. Т.** Тяговые расчеты : справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова. – М. : Транспорт, 1987. – 272 с.
- 2 **Галай, Э. И.** Автоматические тормоза подвижного состава железных дорог : учеб.-метод. пособие по курсовому проектированию. В 2 ч. Ч. 1 / Э. И. Галай. – Гомель : БелИИЖТ, 1981. – 40 с.
- 3 **Галай, Э. И.** Автоматические тормоза подвижного состава железных дорог : учеб.-метод. пособие по курсовому проектированию. В 2 ч. Ч. 2 / Э. И. Галай. – Гомель : БелИИЖТ, 1982. – 26 с.
- 4 Расчет и проектирование пневматической и механической частей тормозов вагонов : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / под ред. П. С. Анисимова. – М. : Маршрут, 2005. – 248 с.
- 5 **Казаринов, В. М.** Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов / В. М. Казаринов, В. Г. Иноземцев, В. Ф. Ясенцев. – М. : Транспорт, 1968. – 400 с.

*D. V. DMITRIEV*

*State Economy and Technology University of Transport, Kiev, Ukraine*

## **ABOUT THE IMPROVEMENT OF TYPICAL CALCULATIONS AT DESIGNING RAIL ROLLING STOCK BRAKES**

Some methods of mathematical improvement of the standard method for designing the mechanical part of a railway rolling stock brake unit for a 1520 mm track are presented and the corresponding calculation formulas are given. The article's material is addressed to interested individuals and organizations, including the production organizations.

Получено 20.06.2016

---

**ISSN 2519-8742. Механика. Исследования и инновации. Вып. 10. Гомель, 2017**

УДК 621.836.2

*Д. А. КЛИМОВСКИЙ, Л. П. НАЗАРОВА, П. А. ОРЛИН, М. С. РУДЕНКО,  
В. В. СКРЯБИН, Н. А. СМИРНОВ, Е. В. ФАЛЬКОВА*

*Сибирский государственный аэрокосмический университет  
им. академика М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия*

## **ЗАДАЧА О ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ ТОЧКИ МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ДВУМЯ КУЛИСАМИ**

В работе решается задача об обеспечении прямолинейного движения выходного звена механизма параллельной структуры с двумя степенями свободы на основе двух кулис. Получены выражения для определения основных кинематических параметров движения управляющих звеньев.

**Ключевые слова:** механизм прямолинейной структуры, кулиса, прямолинейное движение, граничные условия, управляющее движение.

Оборудование, основанное на механизмах параллельной структуры, обеспечивает высокую производительность, надёжность и точность. Такие механизмы, в отличие от традиционных манипуляторов, воспринимают нагрузку как пространственные фермы, что повышает точность, грузоподъёмность и жесткость всей конструкции [1]. Требуемая траектория перемещения выходного звена достигается в них согласованным изменением положений всех приводов. Известны различные конструкции плоских механизмов параллельной структуры, в основном отличающихся друг от друга типом привода (штанги переменной длины или поступательные пары) [2–4].

Рассмотрим механизм с двумя приводами, показанный на рисунке 1. Он состоит из двух опор 1, 2 с приводами вращательного типа, двух кулис 3, 4 длиной  $L$  с пазом длиной от  $R_2$  до  $R_1$  ( $R_1 < L$ ), стержня 5, имеющего диаметр, равный ширине паза кулисы и соединяющего их. Стержень может перемещаться в пазах обеих кулис, причем кулиса 3 не может вращаться вокруг стержня, а кулиса 4 может. Для задания положения выходного звена 5 необходимо согласованное отклонение кулис 3 и 4 на углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  соответственно.

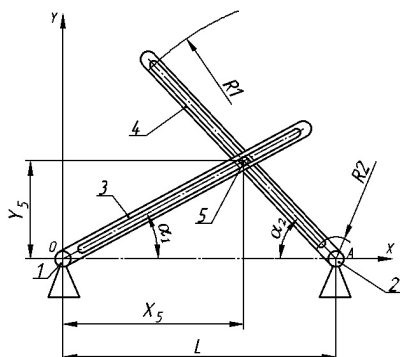


Рисунок 1 – Механизм параллельной структуры на основе двух кулис

Рассмотрим задачу о перемещении выходного звена из начального положения  $A(X_0, Y_0)$  в конечное  $B(X_1, Y_1)$  по прямой линии (рисунок 2), причем точки  $A$  и  $B$  принадлежат рабочему пространству механизма. Расстояние  $AB$ , косинус и синус угла  $\psi$  определяются следующим образом:

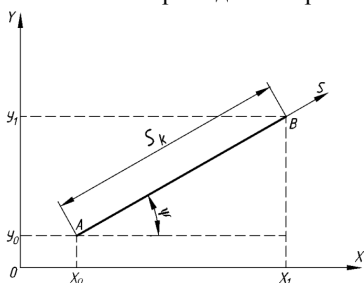


Рисунок 2 – Положение отрезка  $AB$

$$S_k = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2};$$

$$\sin \psi = \frac{Y_1 - Y_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}}; \quad (1)$$

$$\cos \psi = \frac{X_1 - X_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}}.$$

Например, для случая положений  $A(0,4; 0,2)$  и  $B(1,5; 1,0)$  из формул (1) получим  $S_k = 1,36$  м;  $\sin \psi = 0,588$ ;  $\cos \psi = 0,809$ .

Рассмотрим перемещение выходного звена вдоль прямой  $AB$ . Пусть в начальный момент выходное звено находится в состоянии покоя и после перемещения вдоль прямой  $AB$  оно останавливается. Граничные условия для такого движения имеют вид

$$S(t_0)=0; S(t_k)=S_k; S'(t_0)=0; S'(t_k)=0,$$

где  $t_0$  и  $t_k$  – время начала и окончания движения соответственно.

Приведенным граничным условиям соответствует функция

$$S = A \sin(\omega t + \varphi) + K.$$

Неизвестные параметры  $A$ ,  $K$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  определяются из начальных условий путем решения системы уравнений

$$-A + K = 0; A + K = S_k; \omega t_0 + \varphi = -\frac{\pi}{2}; \omega t_k + \varphi = \frac{\pi}{2}.$$

Учитывая, что  $t_0 = 0$ ,  $t_k = T$  ( $T$  – время перемещения из точки  $A$  в точку  $B$ ), получаем

$$A = K = S_k/2; \varphi = -\pi/2; \omega = \pi/T.$$

Тогда

$$S = \frac{S_k}{2} \sin\left(\frac{\pi}{T}t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{S_k}{2}. \quad (2)$$

На рисунке 3 представлены зависимости от времени перемещения (2), а также соответствующих скорости и ускорения для случая  $A(0,4; 0,2)$ ,  $B(1,5; 1,0)$ ,  $T = 3$  с.

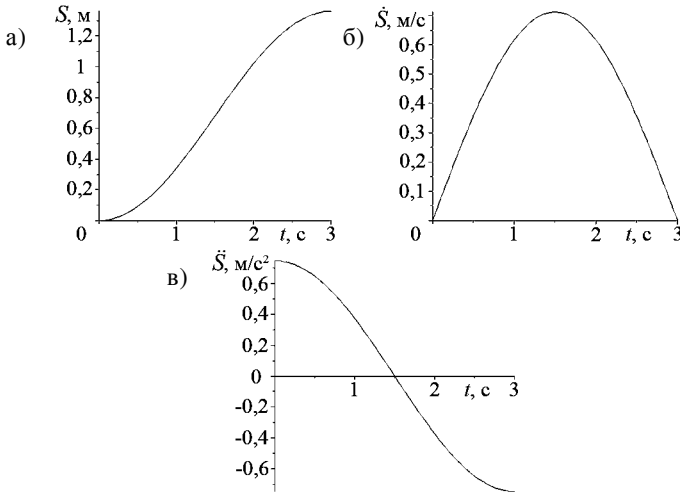


Рисунок 3 – Графики зависимости перемещения (а), скорости (б) и ускорения (в) выходного звена механизма от времени

С учетом формулы (2) выражения текущих координат выходного звена:

$$X_5 = X_0 + \left(\frac{S_k}{2} \sin\left(\frac{\pi}{T}t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{S_k}{2}\right) \sin \psi, \quad Y_5 = Y_0 + \left(\frac{S_k}{2} \sin\left(\frac{\pi}{T}t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{S_k}{2}\right) \cos \psi. \quad (3)$$

Решение обратной задачи кинематики для данного механизма может быть получено из соотношений

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{Y_5}{X_5}, \quad \alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{Y_5}{L - X_5}. \quad (4)$$

Подставляя выражения (3) в формулы (4), получаем зависимости углов поворота приводов от времени, обеспечивающие заданное движение звена 5:

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{Y_0 + \left( \frac{S_k}{2} \sin \left( \frac{\pi}{T} t - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{S_k}{2} \right) \cos \psi}{X_0 + \left( \frac{S_k}{2} \sin \left( \frac{\pi}{T} t - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{S_k}{2} \right) \sin \psi}, \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{Y_0 + \left( \frac{S_k}{2} \sin \left( \frac{\pi}{T} t - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{S_k}{2} \right) \cos \psi}{L - X_0 + \left( \frac{S_k}{2} \sin \left( \frac{\pi}{T} t - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{S_k}{2} \right) \sin \psi}. \quad (6)$$

На рисунке 4 представлены полученные по формулам (5) и (6) графики изменения углов поворота звеньев 1 и 2, а также их угловых скоростей и ускорений для случая  $A(0,4; 0,2)$ ,  $B(1,5; 1,0)$ ,  $T = 3$  с.

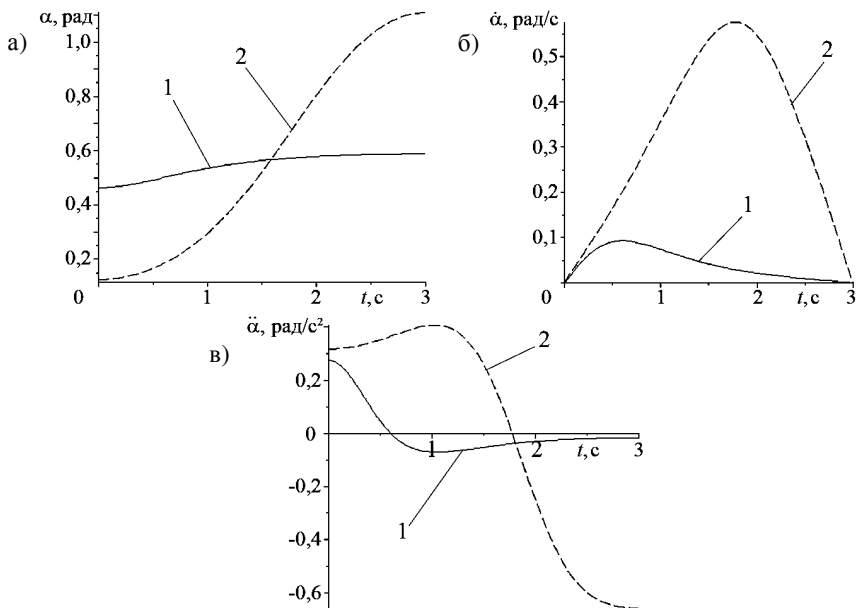


Рисунок 4 – Графики зависимости угла поворота (а), угловых скоростей (б) и ускорений (в) приводов

Как было отмечено в начале статьи, для правильной работы механизмов параллельной структуры большое значение имеет синхронность работы приводов. Полученные выражения являются основой для проектирования системы управления такого устройства. Рассматриваемый механизм может использоваться при работе с плоскими поверхностями, где требуются высокие параметры точности. Это может быть шлифовка, лазерная, плазменная или гидроабразивная резка заготовок из листового сортамента.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 **Рыбак, Л. А.** Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота станка параллельной структуры / Л. А. Рыбак, В. В. Ержуков, А. В. Чичварин. – М. : Физматлит. – 2011. – 148 с.

2 Прогрессивное машиностроительное оборудование / В. В. Ержуков [и др.] ; под ред. А. В. Киричека. – М. : Изд. дом «Спектр», 2011. – 248 с.

3 **Кузнецов, Ю. Н.** Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю. Н. Кузнецов, Д. А. Дмитриев, Г. Е. Диневич ; под ред. Ю. Н. Кузнецова. – Херсон : ПП Вишемирский В. С., 2010. – 471 с.

4 Обработка нового поколения. Концепция проектирования / В. Л. Афонин [и др.] ; под ред. В. Л. Афонина. – М. : Машиностроение, 2001. – 256 с.

*D. A. KLIMOVSKIY, L. P. NAZAROVA, P. A. ORLIN, M. S. RUDENKO,  
N. A. SMIRNOV, E. V. FALKOVA*

*Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev,  
Krasnoyarsk, Russia*

#### **A NONLINEAR MOVEMENT PROBLEM FOR THE POINT OF A PARALLEL KINEMATIC MACHINE BASED ON TWO ROCKERS**

In the paper it is solved the nonlinear movement problem for the point of a parallel kinematic machine with two degrees of freedom based on two rockers. There were defined the main kinematic parameters for control elements.

Получено 09.04.2017

---

**ISSN 2519-8742. Механика. Исследования и инновации. Вып. 10. Гомель, 2017**

УДК 531.8

*А. В. ЛОКТИОНОВ*

*Витебский государственный технологический университет, Беларусь*

#### **РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА**

Рассмотрен расчет малых колебаний эллиптического маятника с учетом сил тяжести ползуна и шарика. Составлены и решены дифференциальные уравнения, описывающие движения тел системы. В работе принято, что в начальный момент