

УДК 621.837.7

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА С ПРЕРЫВИСТЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА

А.Г. СЕМИН, А.М. ТИМОФЕЕВ, А.В. ЛОКТИОНОВ

*Витебский государственный технологический
университет, Республика Беларусь*

В некоторых машинах исполнительный орган совершает поступательное или вращательное движение с остановками, длительность которых зависит от требований технологического процесса и может колебаться в широких пределах. Например, подача ткани на швейной машине осуществляется при помощи кулачково-рычажного механизма. Кулачок представляет собой диск с двумя пазами (копирный диск), расположенными на его торцевых плоскостях. Характер пазов на диске зависит от вида выполняемой строчки. Чем сложнее рисунок, тем большую продолжительность должен иметь паз кулачка, что значительно увеличивает его габариты. По этой причине копирные диски располагаются вне корпуса машины, что значительно ухудшает ее внешний вид. Из-за особенностей работы механизма некоторые участки пазов кулачка выполняются в виде дуг окружностей небольшого радиуса.

Другим примером является подача холстиков в механизме тисков и прочеса в отделительном приборе гребнечесальных машин, которая производится при помощи мальтийского механизма. Наличие высших кинематических пар, появление жестких и мягких ударов не позволяет использовать указанные механизмы при высоких скоростях.

С целью ликвидации отмеченных недостатков предлагается к применению в указанных условиях зубчато-рычажный механизм, схема которого представлена на рис. 1. Механизм состоит из неподвижного зубчатого колеса 1 , водила 2 и сателлита 3 , который имеет палец 4 с установленным на нем камнем 5 , образующим поступательную пару с кулисой 6 , имеющей общую ось вращения с водилом.

Известно, что любая точка сателлита, находящаяся за его делительной окружностью, описывает удлиненную гипоциклоиду, образующую несколько петель в зависимости от отношения числа зубьев колеса и сателлита. При вращении водила движение пальца через камень передается кулисе, совершающей прерывистое вращательное движение. Количество остановок за один цикл работы зависит от отношения чисел зубьев колес. Если центральному колесу сообщить соответствующую скорость, можно получить любое количество остановок за один цикл.

Рассмотрим влияние расположения пальца на длительность и качество остановки, а также на ускорение кулисы. Координаты пальца определяются уравнениями [1]

$$\begin{aligned}x &= L \sin \alpha + l \sin[(1-u)\alpha]; \\y &= L \cos \alpha + l \cos[(1-u)\alpha],\end{aligned}\tag{1}$$

где $L = OA$ (рис. 1); $l = AB$; α – угол поворота водила; $u = z_1 / z_2$; z_1 – число зубьев центрального колеса; z_2 – число зубьев сателлита.

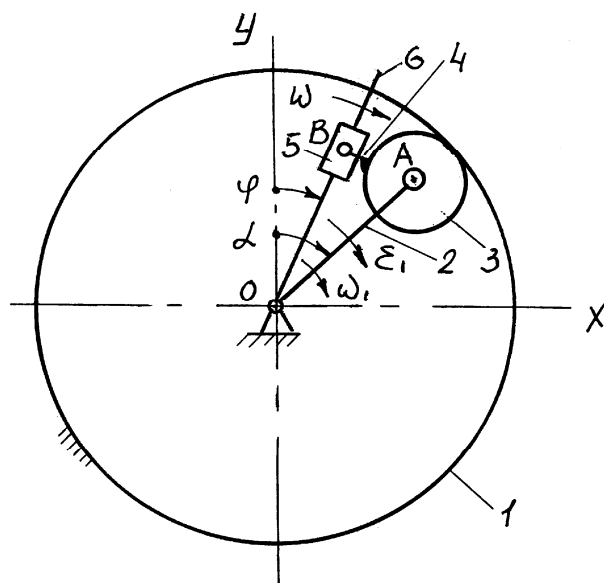


Рис. 1. Схема зубчато-рычажного механизма

Угловое перемещение кулисы

$$\varphi = \arctg \frac{x}{y}. \quad (2)$$

Учитывая, что $\alpha = \omega t$ и дважды дифференцируя уравнения (1), получим

$$\begin{aligned} \dot{x} &= L\omega \cos\alpha + l\omega(1-u)\cos[(1-u)\alpha]; \\ \dot{y} &= -L\omega \sin\alpha - l\omega(1-u)\sin[(1-u)\alpha]; \\ \ddot{x} &= -L\omega^2 \sin\alpha - l\omega^2(1-u)^2 \sin[(1-u)\alpha]; \\ \ddot{y} &= -L\omega^2 \cos\alpha - l\omega^2(1-u)^2 \cos[(1-u)\alpha]. \end{aligned} \quad (3)$$

Полное ускорение пальца

$$a_B = \sqrt{(\ddot{x})^2 + (\ddot{y})^2}. \quad (4)$$

Ускорение точки B' кулисы, совпадающей с пальцем, определяется из системы векторных уравнений

$$\begin{aligned} \bar{a}_{B'} &= \bar{a}_B + \bar{a}_{B'B}^{\kappa} + \bar{a}_{B'B}^{\tau}; \\ \bar{a}_{B'} &= \bar{a}_O + \bar{a}_{B'O}^n + \bar{a}_{B'O}^{\tau}. \end{aligned} \quad (5)$$

Или

$$\bar{a}_{B'O}^{\kappa} + \bar{a}_{B'O}^{\tau} = \bar{a}_B + \bar{a}_{B'B}^{\kappa} + \bar{a}_{B'B}^{\tau}. \quad (6)$$

Проецируя последнее уравнение на линию, перпендикулярную кулисе, получим

$$a_{B'O}^{\tau} = a_B^{\tau} + a_{B'B}^{\kappa}. \quad (7)$$

Величина a_B^{τ} представляет собой сумму проекций на эту линию ускорений \ddot{x} и \ddot{y} , т. е.

$$a_B^r = \ddot{x}\cos\varphi - \ddot{y}\sin\varphi. \quad (8)$$

Учитывая, что

$$\cos\varphi = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad \sin\varphi = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad (9)$$

получим

$$a_B^r = \frac{\ddot{x}y - \ddot{y}x}{\sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (10)$$

Ускорение Кориолиса определяется по формуле

$$a_{B'B}^k = 2V_{B'B}\omega_1, \quad (11)$$

где $V_{B'B}$ – скорость кулисы относительно пальца; ω_1 – угловая скорость кулисы.

Скорость $V_{B'B}$ определяется как сумма проекций скоростей \dot{x} и \dot{y} на линию кулисы с обратным знаком, т. е.

$$V_{B'B} = -\dot{x}\sin\varphi - \dot{y}\cos\varphi,$$

или с учетом (9)

$$V_{B'B} = -\frac{\dot{x}x + \dot{y}y}{\sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (12)$$

Угловая скорость кулисы определяется как сумма проекций скоростей \dot{x} и \dot{y} на линию, перпендикулярную кулисе, деленная на величину расстояния $OB' = \sqrt{x^2 + y^2}$, т. е.

$$\omega_1 = \frac{\dot{x}y - \dot{y}x}{x^2 + y^2}. \quad (13)$$

Следовательно, выражение для определения ускорения Кориолиса принимает вид

$$a_{B'B}^k = -2 \frac{(\dot{x}y - \dot{y}x)(\dot{x}x + \dot{y}y)}{(x^2 + y^2)^{3/2}}. \quad (14)$$

Из (7) с учетом (10) и (14) имеем

$$a_{B'O}^r = \frac{\ddot{x}y - \ddot{y}x}{\sqrt{x^2 + y^2}} - 2 \frac{(\dot{x}y - \dot{y}x)(\dot{x}x + \dot{y}y)}{(x^2 + y^2)^{3/2}}. \quad (15)$$

Разделив обе части зависимости (15) на величину расстояния $OB' = \sqrt{x^2 + y^2}$, получим выражение для определения углового ускорения кулисы

$$\varepsilon = \frac{(x^2 + y^2)(\ddot{x}y - \ddot{y}x) - 2(\dot{x}y - \dot{y}x)(\dot{x}x + \dot{y}y)}{(x^2 + y^2)^2}. \quad (16)$$

В качестве примера рассмотрим анализ механизма с передаточным отношением $u = 3$. Тогда (1) принимает вид

$$x = L\sin\alpha - l\cos 2\alpha;$$

$$y = L\cos\alpha + l\cos 2\alpha.$$

Обозначим

$$l = kr; \quad L = 2r,$$

где k – коэффициент; r – радиус делительной окружности сателлита.

Тогда

$$x = 2r\sin\alpha - kr\sin 2\alpha;$$

$$y = 2r\cos\alpha + kr\cos 2\alpha.$$

Так как угловые характеристики φ , ω и ε не зависят от абсолютных размеров механизма, то принимая $r = 1$, получим

$$x = 2\sin\alpha - k\sin 2\alpha;$$

$$y = 2\cos\alpha + k\cos 2\alpha;$$

$$\dot{x} = 2\omega(\cos\alpha - k\cos 2\alpha);$$

$$\dot{y} = -2\omega(\sin\alpha + k\sin 2\alpha);$$

$$\ddot{x} = -2\omega^2(\sin\alpha - 2k\sin 2\alpha);$$

$$\ddot{y} = -2\omega^2(\cos\alpha + 2k\cos 2\alpha).$$

Исследования проведены при $k = 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5$. На рис. 2 представлены графики углового перемещения φ , аналогов скорости $\omega'_1 = \omega_1/\omega$ и ускорения $\varepsilon'_1 = \varepsilon_1/\omega^2$ кулисы в зависимости от угла поворота водила для случая $k = 1,3$. Величина α_0 соответствует углу поворота водила за время остановки (характеризует длительность остановки). Величина φ_0 соответствует углу поворота кулисы за время остановки (характеризует качество остановки).

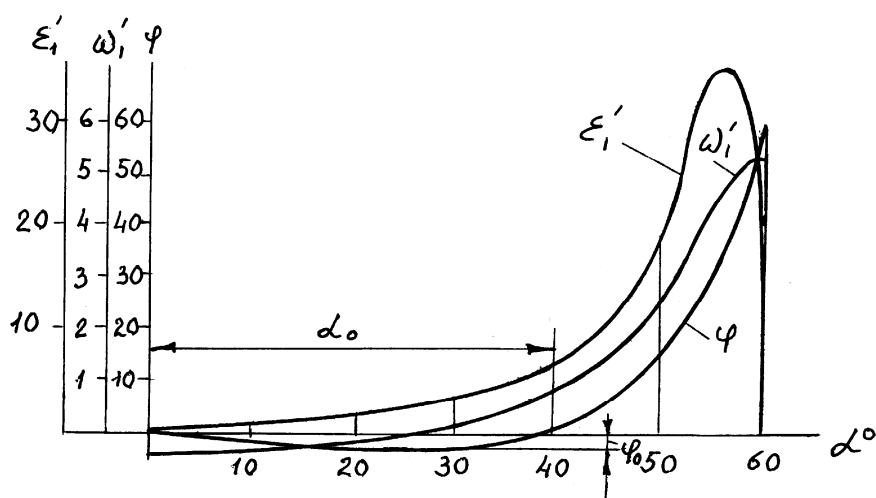


Рис. 2. Графики углового перемещения, аналогов скорости и ускорения кулисы в зависимости от угла поворота водила

Исследования показали, что чем дальше от центра сателлита находится палец, тем длительнее остановка, но тем хуже ее качество. Это видно из рис. 3, где также представлен график изменения аналога максимального углового ускорения кулисы ε'_1 .

Чтобы определить длительность остановки применительно к главному валу машины, скорость которого равна скорости сателлита, применим формулу $\beta_0 = u\alpha_0$. Для рассматриваемого случая $\beta_0 = 3\alpha_0$. При $l = 1,3$ $\beta_0 = 3 \cdot 73 = 219^\circ$. По графикам, представленным в данной работе, можно выбрать нужное значение k в зависимости от α_0 и φ_0 с учетом максимального ускорения $\varepsilon'_{1\max}$.

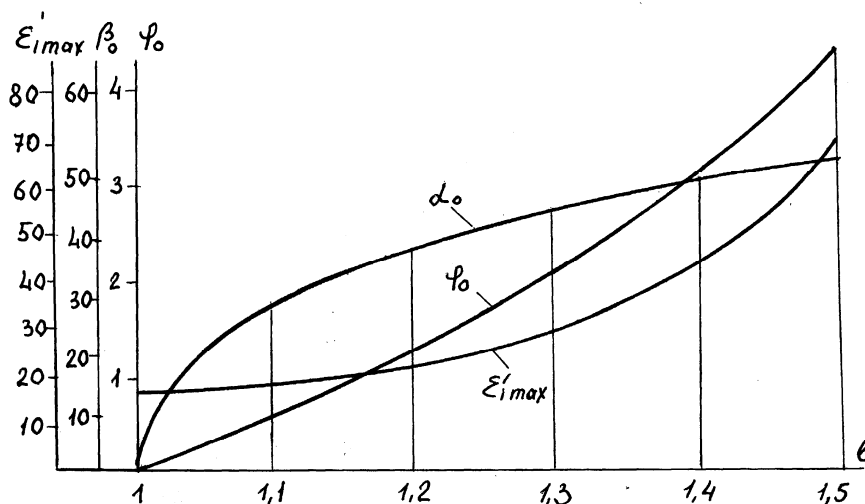


Рис. 3. Графики длительности, качества и максимального углового ускорения кулисы в зависимости от длины пальца сателлита

Расчеты по приведенным зависимостям показали, что исследуемый механизм позволяет получить остановку ведомого звена продолжительностью до 80 % цикла. Перемещение кулисы незначительно (менее 0,5 % хода кулисы за цикл), что близко к идеальной остановке.

Литература

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1966. – 870 с.
2. Теория механизмов и машин: Учеб. для студ. вузов /К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. – 496 с.

Получено 11.10.2002 г.