

ЛІ ЮН

### КУЛІСНИЙ МЕХАНІЗМ ЗІ ЗМІННИМИ ДОВЖИНОЮ І ЧАСТОТОЮ ОБЕРТАННЯ КРИВОШИПА

Кулісні механізми з поступальним рухом повзуна широко застосовують в поліграфічних машинах. Проте закон руху повзуна такого вихідного механізму не завжди відповідає поставленим умовам.

В розглянутих комбінованих механізмах закон руху повзуна можна змінювати гіпециклоїдальним зубчастим механізмом з передаточним числом 2, для якого радіус умовного кривошипа  $\rho = O_1A$  (рис. 1) і частота обертання відносно центра  $O_1$  змінні.

На рис. 1 зображені кінематичні схеми двох варіантів таких механізмів. В них навколо нерухомого колеса 1 обкочується колесо 2 із числом зубців  $z_2 = 0,5z_1$ . Точка  $A$  кривошипа на початку руху ( $\varphi_1 = 0$ ) знаходиться або по правій бік від точки  $O_1$  (варіант I), або по лівій (варіант II) на відстані  $e = O_2A$  від вершини водила  $O_2$ .

Відповідно до рис. 1 радіус умовного кривошипа  $\rho$  визначимо із трикутника  $O_1AO_2$ :

$$\rho = \frac{e \sin \psi}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}, \quad (1)$$

де

$$e^2 = (R + r)^2 + \rho^2 - 2(R + r) \cdot \rho \cos(\varphi_1 - \varphi_2); \quad (2)$$

$$\psi = \varphi_1 R / r;$$

$R$  — радіус початкового кола нерухомого зубчастого колеса;  $r$  — радіус початкового кола рухомого зубчастого колеса;  $\varphi_1$  — кут повороту водила;  $\varphi_2$  — кут повороту умовного кривошипа.

Виражаючи (1) через (2), отримуємо

$$\rho^4 + [-2(R+r)^2 - 2e^2]\rho^2 + [(R+r)^2 - e^2]^2 + 4(R+r)^2 e^2 \sin^2(\varphi_1 R/r) = 0. \quad (3)$$

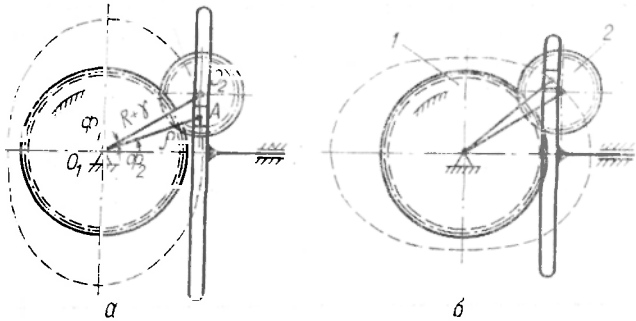


Рис. 1. Кінематична схема кулісного механізму зі змінною довжиною кривошипа:

$a$  — варіант I;  $b$  — варіант II.

Розв'язком (3) визначаємо значення радіуса умовного кривошипа

$$\rho = \sqrt{\frac{-A - \sqrt{A^2 - (B - C)}}{2}}, \quad (4)$$

де

$$A = 2(R+r)^2 - 2e^2; \quad B = (R+r)^2 - e^2; \\ C = -4(R+r)^2 e^2 \sin(\varphi_1 R/r).$$

Кутові переміщення умовного кривошипа визначимо із трикутника  $O_1AO_2$ :  $\rho \sin(\varphi_1 - \varphi_2) = e \sin \psi$ , звідки

$$\varphi_2 = \varphi_1 - \arcsin \left[ \frac{e}{\rho} \sin(\varphi_1 R/r) \right]. \quad (5)$$

Для варіанта I (рис. 1,  $a$ ) переміщення куліси

$$S = (1 + \alpha + \beta - K \cos \varphi_2) [R], \quad (6)$$

де  $(1 + \alpha + \beta - K \cos \varphi_2) = S_n$  — інваріант переміщення.  
Швидкість куліси

$$V = \frac{dS}{dt} = \frac{dS_n}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} [R] = V_n [\omega R], \quad (7)$$

де  $V_n = \frac{dS_n}{d\varphi_1} = (F \cos \varphi_2 - KG \sin \varphi_2)$  — інваріант швидкості.

Прискорення куліси

$$W = \frac{dV}{dt} = \frac{dV_u}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} [\omega R] = W_u [\omega^2 R], \quad (8)$$

де

$$W_a = \frac{dV_u}{d\varphi_1} = (Z \cos \varphi_2 - 2FG \sin \varphi_2 - KE \sin \varphi_2 - KG^2 (\cos \varphi_2)).$$

Тут

$$K = \sqrt{(1 + \alpha)^2 + \beta^2 - 2(1 + \alpha)\beta \cos \frac{\varphi_1}{\alpha}};$$

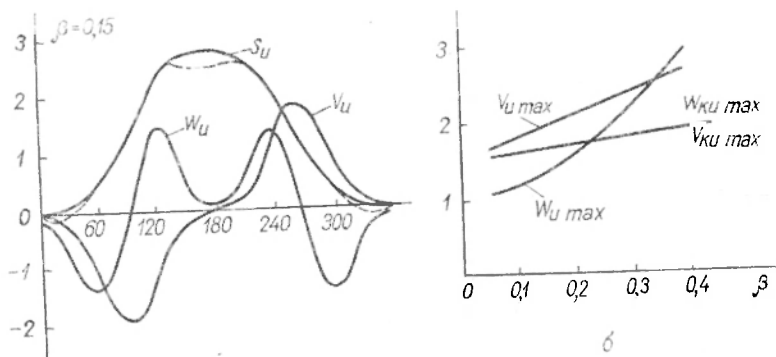


Рис. 2. Кінематичні характеристики механізму при  $\beta=0,2$ :  
 а — взірцеві діаграми; б — узагальнені характеристики.

$$F = \frac{1}{K\alpha} (1 + \alpha) \beta \sin \frac{\varphi_1}{\alpha};$$

$$G = 1 - \frac{-\frac{\beta^2}{K^3\alpha} (1 + \alpha) \sin^2 \frac{\varphi_1}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha K} \cos \frac{\varphi_1}{\alpha}}{\sqrt{1 - \left[ \frac{\beta}{K} \sin \left( \frac{\varphi_1}{\alpha} \right) \right]^2}};$$

$$Z = -\frac{(1 + \alpha)^2 \beta^2 \sin(\varphi_1/\alpha)}{\alpha^2 K^3}; \quad \frac{(1 + \alpha) \beta \cos(\varphi_1/\alpha)}{K\alpha^2};$$

$$E = - \left[ 1 - \left( \frac{\beta}{K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right)^2 \right]^{-1,5} \left( \frac{\beta}{K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right) \left( -\frac{\beta F}{K^2} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} + \right. \\ \left. + \frac{\beta}{K\alpha} \cos \frac{\varphi_1}{\alpha} \right)^2 + \left[ 1 - \left( \frac{\beta}{K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right)^2 \right]^{-0,5} \left( \frac{\beta Z}{K^2} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} - \right. \\ \left. - \frac{\beta}{K^3} F^2 \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha^2 K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right);$$

$$\alpha = r/R; \quad \beta = e/R.$$

Для прикладу на рис. 2, а показані діаграми зміни кінематичних інваріантів  $S_u$ ,  $V_u$  і  $W_u$  залежно від кута повороту во-

дила для комбінованого механізму при  $\beta=0,2$ . В крайніх положеннях інваріант переміщення змінюється повільно. При значеннях  $\beta > 0,15$  можна отримати механізм, в якому повзун у положеннях, близьких до крайніх, буде здійснювати незначні коливальні рухи (пунктирна лінія на рис. 2, а), тобто мати так звані фальшиві паузи. Амплітуди коливального руху і періоду фальшивих пауз збільшуються із зростанням  $\beta$ .

Кінематичні характеристики розглянутих комбінованих механізмів необхідно порівнювати з характеристиками вихідного механізму з постійним радіусом кривошипа  $\rho = (R+r+e)$ . Для нього інваріант переміщення

$$S_n = (1 + \alpha + \beta) (1 - \cos \varphi_1), \quad (9)$$

інваріант швидкості

$$V_n = \frac{dS_n}{d\varphi_1} = (1 + \alpha + \beta) \sin \varphi_1, \quad (10)$$

інваріант прискорення

$$W_n = \frac{dV_n}{d\varphi_1} = (1 + \alpha + \beta) \cos \varphi_1. \quad (11)$$

Дослідження кінематичних характеристик механізмів виконані на ЕОМ і показані на рис. 2, б. З нього видно, що константи піків швидкості  $V_u$  для комбінованого механізму вищі, ніж для порівнюючого  $V_{ku}$  при всіх значеннях  $\beta$ . Константи піків прискорень  $W_u$  в діапазоні до  $\beta=0,25$  менші, ніж константи  $W_{ku}$  для порівнюючого.

Як показали дослідження, такі механізми, для яких  $\beta < 0,25$ , можна рекомендувати у випадку великих динамічних навантажень.

Для варіанту II (рис. 1, б) переміщення куліси

$$S = (1 + \alpha - \beta - K \cos \varphi_2) [R], \quad (12)$$

де  $S_u = (1 + \alpha - \beta - K \cos \varphi_2)$  — інваріант переміщення.

Диференціюванням двічі по  $\varphi_1$  отримуємо вирази для інваріантів швидкості і прискорення куліси.

$$V_n = F \cos \varphi_2 - K G \sin \varphi_2; \quad (13)$$

$$W_n = Z \cos \varphi_2 - 2FG \sin \varphi_2 - KE \sin \varphi_2 - KG^2 \cos \varphi_2. \quad (14)$$

У формулах (12)–(14)

$$K = \sqrt{(1 + \alpha)^2 + \beta^2 + 2(1 + \alpha)\beta \cos \frac{\varphi_1}{\alpha}};$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \arcsin \left[ \frac{\beta}{K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right];$$

$$F = -\frac{1}{K\alpha} (1 + \alpha) \beta \sin \frac{\varphi_1}{\alpha},$$

$$Z = \frac{\beta}{\alpha^2 K^3} (1 + \alpha)^2 \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} - \frac{\beta}{\alpha^2 K} (1 + \alpha) \cos \frac{\varphi_1}{\alpha};$$

$$E = \left[ 1 - \left( \frac{\beta}{K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right)^2 \right]^{-1,5} \left( \frac{\beta}{K\alpha} \cos \frac{\varphi_1}{\alpha} \right)^2 \times$$

$$\times \left( \frac{-\beta F}{K^2} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} + \frac{\beta}{K\alpha} \cos \frac{\varphi_1}{\alpha} \right)^2 -$$

$$- \left\{ 1 - \left( \frac{\beta}{K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right)^2 \right\}^{-0,5} \left[ \frac{\beta^2}{K^4 \alpha} (1 + \alpha) F \sin^2 \frac{\varphi_1}{\alpha} - \right.$$

$$\left. - \frac{2\beta^2}{\alpha^2 K^3} (1 + \alpha) \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \cos \frac{\varphi_1}{\alpha} - \frac{\beta}{\alpha K^2} F \cos \frac{\varphi_1}{\alpha} - \frac{\beta}{\alpha^2 K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right];$$

$$G = 1 - \frac{-\frac{\beta^2}{K^2 \alpha} (1 + \alpha) \sin^2 \frac{\varphi_1}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha K} \cos \frac{\varphi_1}{\alpha}}{\sqrt{1 - \left( \frac{\beta}{K} \sin \frac{\varphi_1}{\alpha} \right)^2}}$$

На рис. 3, а як приклад наведені діаграми інваріантів переміщення  $S_u$ , швидкості  $V_u$  і прискорення  $W_u$  залежно від кута повороту водила для  $\beta=0,15$ . Дослідження показали, що при  $\beta=0,2$  і більше швидкість куліси (пунктирна лінія на рис. 3, а) в діапазоні кутів повороту  $70^\circ \leq \varphi_1 \leq 110^\circ$  і  $250^\circ \leq \varphi_1 \leq 290^\circ$  майже не змінюється.

Результати досліджень наведені на рис. 3, б, де константи піків швидкості і прискорень порівнюються з константами для механізму із постійним радіусом кривошипа  $\rho = (R+r+e)$ . Із

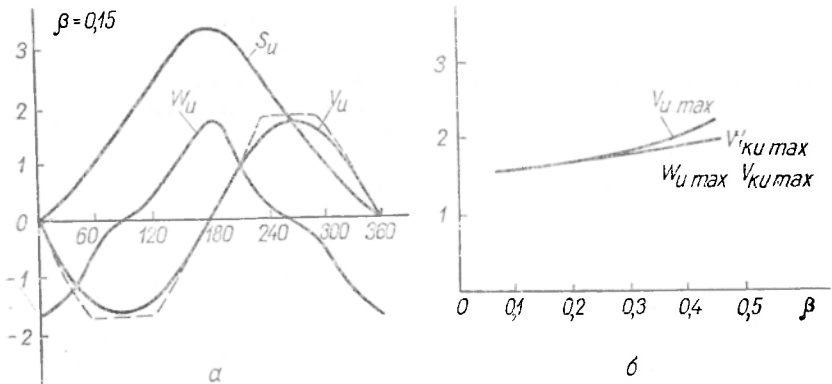


Рис. 3. Кінематичні характеристики механізму при  $\beta=0,15$ :  
а — взірцеві діаграми; б — узагальнені характеристики.

графіків видно, що константи піків швидкості для комбінованого механізму до  $\beta=0,2$  дорівнюють вихідному, а при  $\beta > 0,2$  — незначно підвищуються. Константи піків прискорень як для ви-

хідного, так і для комбінованого механізмів рівні для всіх значень  $\beta$ .

Таким чином, розглянуті механізми можна рекомендувати для використання в поліграфічних машинах у випадку необхідності зниження динамічних нагрузок, отримання фальшивих пауз в крайніх положеннях повзуна і вирівнювання його швидкості в середині кінематичного циклу.

1. *Крайнев А. Р.* Словарь-справочник по механизмам. М., 1987.
2. *Тир К. В.* Механика полиграфических автоматов. М., 1965.

Стаття надійшла до редколегії 28.04.89

---