
УДК 621.835

Б. С. СТЕЦІВ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩ
У ПАРІ КУЛАЧОК—РОЛИК
ПІД ЧАС ЇХ ГЕОМЕТРИЧНОГО ЗАМИКАННЯ**

Серед кулачкових механізмів значну частину становлять однокоромислові з геометричним замиканням ролика обмежуючим профілем.

Для збільшення к.к.д. і збереження чистого кочення ролика по профілю між його поверхнею та поверхнею замикаючого про-

філю необхідно забезпечити зазор. Під час реверсу навантажувача ролик переходить з поверхні одного кулачка на поверхню іншого і внаслідок різниці у швидкостях відбувається відносне проковзування, бо кулачок свою кутову швидкість не змінює.

Чисте кочення ролика по кулачку забезпечує сила тертя, яка виникає внаслідок передачі деякого значення крутного моменту кулачком ролику при певному натягу між обома поверхнями. Воно відбувається тільки за умови

$$R_n (f_{12} r_p - f_{11} r_{11} \sqrt{1 + f_{11}^2} - k) \geq I_p \cdot \varepsilon_{po}, \quad (1)$$

де f_{12} , f_{11} — коефіцієнти тертя ковзання між профілями та в цапфі ролика; k — коефіцієнт тертя кочення; r_p — радіус ролика; r_{11} — радіус цапфи ролика; I_p — статичний момент інерції ролика відносно осі обертання; ε_{po} — кутове прискорення ролика.

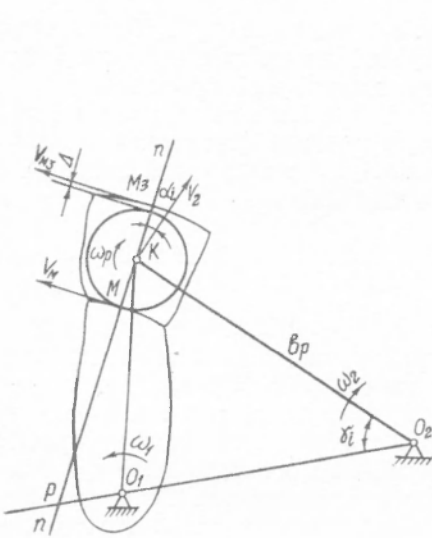


Рис. 1. Схема кулачкового механізму з пазовим кулачком.

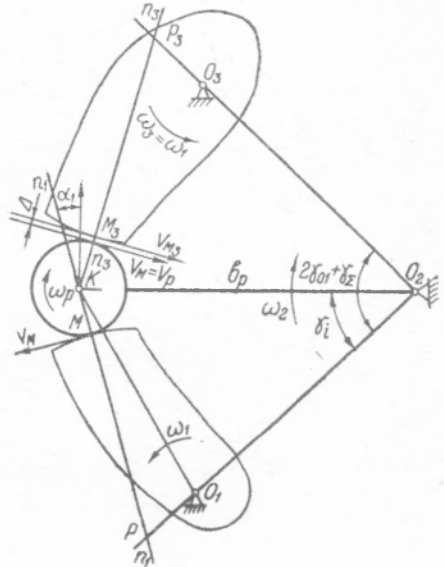


Рис. 2. Схема двокулачкового механізму.

При виконанні умови (1) ролик коромисла котиться по профілю кулачка з нерівномірною кутовою швидкістю. Це викликано геометричною формою кулачка (різні радіуси-вектори профілю).

При відсутності проковзування швидкість точок контакту відносно будь-якої рухомої чи нерухомої системи, які одночасно належать кулачку і ролику веденої ланки, в кожен момент часу є величинами однаковими як за значенням, так і за напрямком.

Значення миттєвої лінійної швидкості точки M (рис. 1 і 2) можна записати як [1]

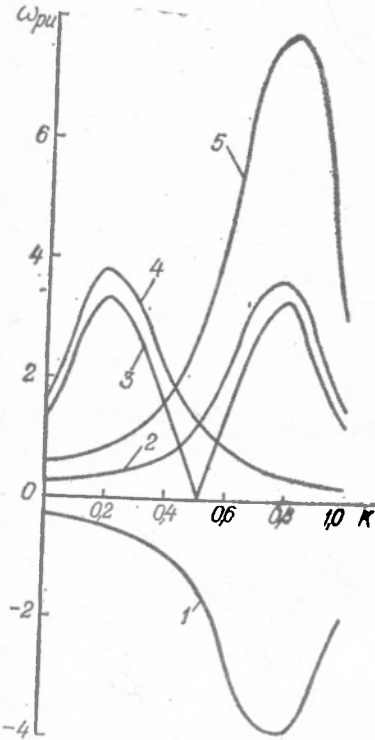
$$V_M = (\omega_1 \pm \omega_2) \frac{MO}{MK} \cdot MK = \omega_p r_p, \quad (2)$$

$$\text{де } MO = \frac{b_p \sin \gamma_i}{\cos(\alpha_i + \gamma_i)} - MK; \quad MK = r_p; \quad \gamma_i = \gamma_{oi} + \alpha_k \gamma_z,$$

$$\omega_2 = b_k \frac{\gamma_\Sigma}{\Phi_i} \cdot \omega_1; \quad \alpha_i = \arctg \frac{b_k \frac{\gamma_\Sigma}{\Phi_i} b_p - l \cos \gamma_i + b_p}{l \sin \gamma_i};$$

Φ_i — фазовий кут повороту кулачка.

Звідси кутова швидкість ролика в інваріантному вигляді [2]



$$\omega_{pu} = \frac{\omega_p}{\omega_1} = \left(1 \pm b_k \frac{\gamma_\Sigma}{\Phi_i} \right) \times \left(\frac{b_p \sin \gamma_i}{\cos(\alpha_i + \gamma_i)} - r_p \right) \frac{1}{r_p}. \quad (3)$$

Знак мінус у дужках слід брати тоді, коли кутові швидкості кулачка і коромисла напрямлені протилежно.

Кутове прискорення ролика в інваріантному вигляді отримуємо, взявши першу похідну від кутової швидкості та поділивши на ω_1^2

$$\varepsilon_{pu} = \frac{d\omega_p}{dt} \cdot \frac{1}{\omega_1^2} = \frac{1}{T\omega_1^2} \cdot \frac{d\omega_p}{d\kappa}. \quad (4)$$

За наведеними формулами легко визначити кутові швидкості і прискорення ролика у будь-який момент часу як для пазового, так і для кулачкового механізму з відкритим профілем, наприклад, двокулачкового з геометричним замиканням. Отримані результати показані у вигляді графіків на рис. 3.

Практичне значення має не стільки абсолютне значення кутової швидкості ролика, скільки зміна її при переході ролика з профілю на профіль, оскільки різниця миттєвих лінійних швидкостей ролика і профілю замикаючого кулачка у точці контакту викликає взаємне геометричне проковзування обох тіл. Кулачок приводиться з постійною кутовою швидкістю, яка

Рис. 3. Графіки інваріантів кутових швидкостей ролика:

- 1 — при коченні по замикаючому профілю пазового кулачка (схема рис. 1);
- 2 — при коченні по робочому профілю (схема рис. 2);
- 3 — різниця інваріантів при можливому переході (схема рис. 2);
- 4 — при коченні по замикаючому профілю (схема рис. 2);
- 5 — різниця інваріантів швидкостей для випадку пазового кулачка.

визначається постійним крутним моментом на кулачковому валу. Отже, миттєва лінійна швидкість профілю кулачка, напрямлена по дотичній до точки умовного контакту профілів кулачка та ролика, відповідає певному закону руху і не може змінюватися довільно.

Швидкість ролика стає іншою при переході з профілю на профіль внаслідок нерівності швидкостей поверхонь у точці умовного контакту в результаті тертя, а також різних видів навантаження.

Для випадку чисто інерційного навантаження (після відриву ролика) рух коромисла можна відобразити як

$$\dot{\gamma} I_{np} = -f_{02} \cdot r_{02} g \cdot m_{np}.$$

Поділимо ліву та праву частини на I_{np} і, позначивши $\frac{m_{np}}{I_{np}} = \mu$, дістаємо

$$\ddot{\gamma} = -f_{02} \cdot r_{02} \cdot g \cdot \mu. \quad (5)$$

Швидкість навантажувача у період вільного руху визначається шляхом інтегрування виразу (5)

$$\dot{\gamma} = \int_0^t \ddot{\gamma} dt = -f_{02} r_{02} \cdot g \cdot \mu \cdot t + C_1. \quad (6)$$

За початок межі інтегрування приймаємо позицію $t = k_{отр} \varphi_i / \omega_1$. Постійну C_1 знаходимо з початкових умов при $t=0$; $j = \omega_{отр}$; $\dot{\gamma} - C_1 = 0$; $C_1 = \omega_{отр}$.

Переміщення центра ролика за час виборки зазору дістаємо з допомогою інтегрування виразу (6)

$$\gamma = \int_0^t \dot{\gamma} dt = \omega_{отр} t - \frac{1}{2} f_{02} \cdot r_{02} \cdot g \cdot \mu \cdot t^2 + C_2.$$

Стала інтегрування C_2 визначається з початкових умов при $t=0$; $\gamma = \gamma_{отр}$; $C_2 = \gamma_{отр}$.

Шлях переміщення веденої маси внаслідок зазору між профілями кулачків

$$\frac{\Delta}{b_p \cos \Theta_3} = \gamma_{отр} - \frac{1}{2} f_{02} r_{02} g \mu t^2, \quad (7)$$

де Δ — зазор, вимірний по нормалі до замикаючого профілю; Θ_3 — кут нормалі замикаючого профілю.

Час вільного переміщення центра ролика

$$t = \sqrt{\frac{a_{k отр} \cdot \gamma_{отр} \cdot b_p \cos \Theta_3 - \Delta}{b_p \cos \Theta_3 \cdot f_{02} \cdot r_{02} g \cdot \mu}}. \quad (8)$$

При русі в полі зазору ролик втрачає частину накопиченої енергії, що можна записати, виходячи з рівності моментів

$$I_p \cdot \varepsilon_{po} - f_{ц} \cdot r_{ц} \cdot m_p g = I_p \varepsilon_p. \quad (9)$$

Після нескладних перетворень маємо

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{po} - f_{ц} r_{ц} \mu g.$$

Значення миттєвої лінійної швидкості поверхні ролика відносно центра обертання в момент дотику до замикаючого профілю

$$V_{pz} = \left(\omega_p - (\varepsilon_p - f_{ц} r_{ц} \mu g) \left(K_i - K_{отр} \frac{\Phi_i}{\omega_i} \right) \right) \cdot r_p. \quad (10)$$

Знаючи миттєві лінійні швидкості поверхонь профілів кулачка та ролика, знаходимо геометричне переміщення поверхні ролика по поверхні кулачка з моменту початку контакту до того часу, коли швидкість відносного проковзування дорівнює нулю

$$S_{отн} = \int_{k_1}^{k_2} V_{отн} dt = \int_{k_1}^{k_2} (V_{мз} - V_{pz}) dt, \quad (11)$$

де k_1 — позиція початку контакту профілю замикаючого кулачка з роликом, $k_1 = k_{отр} + \frac{\Delta t}{\Phi_i} \omega_i$; k_2 — позиція, в якій $V_{отн} = 0$ (відносне проковзування відсутнє) визначається за формулою (1); $V_{мз}$ — миттєва лінійна швидкість замикаючого профілю кулачка у точці контакту з роликом (позиція k_1).

Наведена методика оцінки відносного спрацювання вищої пари КМ дає змогу розв'язувати й обернену задачу — уточнення вимог до виготовлення механізму за заданим терміном експлуатації.

Список літератури: 1. Гульбинас А. С. Угловая скорость и угловое ускорение ролика ведомого звена плоского кулачкового механизма. — Тр. АН Лит. ССР. Серия Б, 1965, № 1 (40), с. 185—191. 2. Тур К. В. Механика полиграфических автоматов. — М.: Книга, 1956. — 495 с.

The article deals with analytic calculation of rock-shaft roller motion in pure swinging.

Pure roller swinging in a clearance place and the rate of relative sliding in the moment of touching with limiting profile are investigated. The given method can be used both in practice and in wear resistance calculation of cam mechanisms.

Стаття надійшла до редколегії 28. 03. 85