

УДК 621.835

І. О. ПОЛЮДОВ

**ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ ЧОТИРИЛАНКОВИХ
ШАРНІРНИХ МЕХАНІЗМІВ ЗА ЗАДАНИМИ
ЗНАЧЕННЯМИ МІЖБАЗОВОЇ ВІДСТАНІ
ТА КУТОВОГО РОЗМАХУ**

Чотириланкові шарнірні механізми (ЧШМ) широко використовуються як виконавчі в поліграфічних машинах-автоматах.

При синтезі ЧШМ, як правило, заданими є кутовий розмах вихідної ланки γ_{Σ} та міжбазова відстань механізму $O_1O_2=b$. За умови $T_{p,x}=T_{x,x}$ можна використовувати центральні ЧШМ, в яких вершини коремисел і кривошипа в крайніх положеннях лежать на одній прямій. Як видно з рис. 1, забезпечити переміщення коромисла на кут γ_{Σ} при заданій міжбазовій відстані b можна більшим сімейством ЧШМ з різними радіусами кривошипів і довжинами шатунів.

Відповідно до рис. 1 основні геометричні розміри ЧШМ зв'язані такими залежностями:

$$h = R \cos 0,5 \gamma_{\Sigma}; \quad (1)$$

$$R = \frac{r}{\sin 0,5 \gamma_{\Sigma}}; \quad (2)$$

$$l_{\text{ш}} = \sqrt{b^2 - R^2 \cos^2 0,5 \gamma_{\Sigma}}. \quad (3)$$

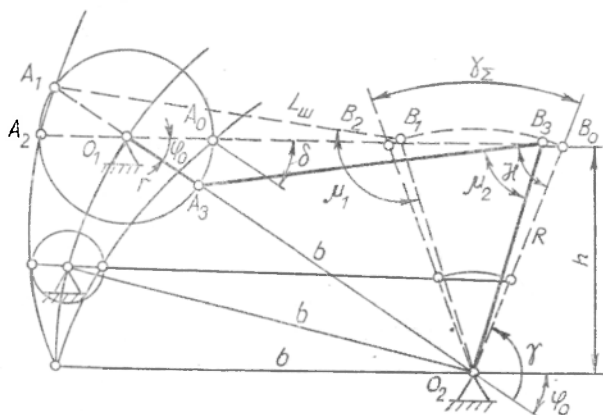


Рис. 1. Переміщення коромисла на кут γ_{Σ} при заданій міжбазовій відстані b .

Приведемо ЧШМ до одиничного механізму, вводючи такі геометричні параметри:

$$\lambda_3 = b/r; \quad (4) \quad \lambda_2 = R/r = 1/\sin 0,5\gamma_{\Sigma}; \quad (5)$$

$$\lambda_1 = \sqrt{b^2/r^2 - R^2/r^2 \cos^2 0,5\gamma_{\Sigma}} = \sqrt{\lambda_3^2 - \lambda_2^2 \cos^2 0,5\gamma_{\Sigma}} = \sqrt{\lambda_3^2 - \operatorname{ctg}^2 0,5\gamma_{\Sigma}}. \quad (6)$$

З виразів (4)–(6) випливає, що геометричні параметри із сімйства ЧШМ виражаються через λ_3 і γ_{Σ} .

Для інерційних ЧШМ важливим критерієм оцінки їх динамічних характеристик є константа піка прискорення. Із [1] значення інваріанта кутового прискорення коромисла

$$\varepsilon_{2n} = \frac{\lambda_2 \cos(\delta - \gamma) \omega_{2n}^2 - \cos(\delta - \gamma) - \lambda_1 \omega_{1n}^2}{\lambda_2 \sin(\delta - \gamma)}. \quad (7)$$

Константа піка прискорення визначається в крайніх положеннях коромисла. При цьому $\varphi = \varphi_0$, $\delta = \varphi$, $\gamma - \varphi = 90^\circ - 0,5\gamma_{\Sigma}$ і $\delta - \gamma = -90^\circ + 0,5\gamma_{\Sigma}$. Тоді інваріант швидкості коромисла $\omega_{2n} = 0$, а інваріант кутової швидкості шатуна

$$\omega_{1n} = \frac{1 \sin(90^\circ - 0,5\gamma_{\Sigma})}{\lambda_1 \sin(0,5\gamma_{\Sigma} - 90^\circ)} = \frac{-1}{\lambda_1} = -\frac{1}{\sqrt{\lambda_3^2 - \operatorname{ctg}^2 0,5\gamma_{\Sigma}}}. \quad (8)$$

Підставляючи (8) і значення кутів в (7), одержимо формулу для визначення константи піка прискорення

$$\varepsilon_{2n \max} = \frac{-1 - \lambda_1 (\lambda_1^{-2})}{-\lambda_2 \cos 0,5\gamma_{\Sigma}}, \quad (9)$$

а після підстановки (5) і (6) і деяких перетворень

$$\varepsilon_{2n \max} = \frac{1 + \sqrt{\lambda_3^2 - \operatorname{ctg}^2 0,5\gamma_{\Sigma}}}{\operatorname{ctg} 0,5\gamma_{\Sigma} \sqrt{\lambda_3^2 - \operatorname{ctg}^2 0,5\gamma_{\Sigma}}}. \quad (10)$$

Залежність констант піків прискорень від кутових розмахів і призначених геометричних параметрів λ_3 в межах існування механізмів згідно з теоремою Грасгофа зображені на рис. 2. Отже, при зменшенні λ_3 значення $\varepsilon_{2n \max}$ інтенсивно зростають і при більших значеннях змінюються плавно.

Таким чином, з метою зменшення $\varepsilon_{2n \max}$ при заданому розмаху коромисла γ_{Σ} необхідно рекомендувати ЧШМ з можливо більшим геометричним параметром λ_3 , тобто з можливо меншим значенням радіуса крившипа.

Звузимо область існування ЧШМ із заданими b і γ_{Σ} , визначивши екстремальні значення геометричного параметра. Найбільше значення λ_3 отримаємо з умови повертання механізму без заклинювання, тобто при $\mu_1 < [\mu_1]$ і $\mu_2 > [\mu_2]$.

Із трикутника $A_3B_3O_2$ маємо $(b-r)^2 = l_w^2 + R^2 - 2l_w R \cos \mu_2$. Після підставлення (2) і (9) і перетворень отримаємо

$$2\sqrt{b^2 - r^2 \operatorname{ctg}^2 0,5 \gamma_{\Sigma}} \frac{\cos \mu_2}{\sin 0,5 \gamma_{\Sigma}} = 2b - r \left(1 + \operatorname{ctg}^2 0,5 \gamma_{\Sigma} - \frac{1}{\sin^2 0,5 \gamma_{\Sigma}} \right). \quad (11)$$

Підставивши $\mu_2 = [\mu_2]$ і розв'язавши відносно r , будемо мати формулу для максимально можливого радіуса кривошипа, який забезпечує роботу механізму без заклинювання:

$$r_{\max} = b \frac{\sqrt{\cos^2 [\mu_2] - \sin^2 0,5 \gamma_{\Sigma}}}{\cos^2 [\mu_2] \operatorname{ctg} 0,5 \gamma_{\Sigma}}, \quad (12)$$

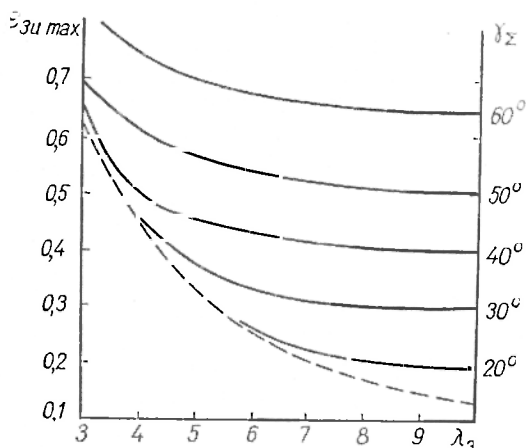


Рис. 2. Залежність констант піків прискорень від кутових розмахів і призначених геометричних параметрів.

а для максимально можливого геометричного параметра —

$$\lambda_{3 \max} = \frac{\cos [\mu_2] \operatorname{ctg} 0,5 \gamma_{\Sigma}}{\sqrt{\cos^2 [\mu_2] - \sin^2 0,5 \gamma_{\Sigma}}}. \quad (13)$$

З виразу (13) видно, що максимально можливий радіус кривошипа залежить від бази і кутового розмаху механізму, а також припустимого кута передачі.

Проте можливість існування кривошипа з максимальним радіусом необхідно перевірити на віддалені від заклинювання в крайньому лівому положенні.

Із трикутників $A_1B_1H_2$ і $A_3B_3O_2$ маємо

$$(b + z)^2 = l_{\Sigma}^2 + R^2 + 2l_{\Sigma} R \cos \mu_1; \quad (14)$$

$$(b - r)^2 = l_{\Sigma}^2 + B^2 - 2l_{\Sigma} R \cos \mu_2. \quad (15)$$

Віднімемо (15) від (14):

$$4br = 2l_{\Sigma} R \cos \mu_2 - 2l_{\Sigma} R \cos \mu_1$$

і розв'яжемо одержане рівняння відносно μ_2 :

$$\mu_2 = \arccos \left(\cos \mu_1 - \frac{br}{I_{\text{ш}} r} \right) \text{ або } \mu_2 = \arccos \left(\cos \mu_1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 \lambda_2} \right). \quad (16)$$

Робота механізму без заклинювання можлива за умови $\mu_2 < [\mu_2]$.

Найменше значення радіуса кривошипа (виключаючи колінчастий вал) для інерційних ЧШМ можна отримати, використовуючи пропорції міцності його ланок [2].

В першому наближенні діаметр вала коромисла можна визначити з умови міцності на кручення:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{ш}} \max}{0,2 [\tau_1]}}, \quad (17)$$

де $M_{\text{ш}} \max = \varepsilon_{\text{зи}} \max [I \omega^2]$; ω — кутова швидкість кривошипа; I — момент інерції мас, приведених до вала коромисла; $[\tau_1]$ — умовне припустиме напруження кручення вала, понижене з урахуванням супроводжуючого згину, яке часто використовують для попередніх розрахунків [2]. Перетворивши (17), одержимо

$$d_3 = \sqrt[3]{\varepsilon_{\text{зи}} \max} \sqrt[3]{\frac{I \omega^2}{[\tau_1]}}. \quad (18)$$

Для ЧШМ, ланки якого розраховані з умови їх рівномірності, діаметр ступиці кривошипа $d_{\text{кг}} = m d_3$, а його головки $d_2 = n d_3$ [2]. Коефіцієнти m і n залежать від діаметра кривошипа і для чавуна становлять $m = 1,26$ і $n = 1,12$.

Мінімально можливий радіус кривошипа для такого ЧШМ

$$r_{\min} = (0,5m + 0,5n) d_3 = k d_3 = k \sqrt[3]{\varepsilon_{\text{зи}} \max} \sqrt[3]{\frac{I \omega^2}{[\tau_1]}}. \quad (19)$$

Поділимо ліву і праву частини (18) на базову відстань

$$\lambda_{3 \min} = \frac{r_{\min}}{b} = K \sqrt[3]{\varepsilon_{\text{зи}} \min} \sqrt[3]{\frac{I \omega^2}{[\tau_1] b^3}}. \quad (20)$$

Підставивши (10) в (20), отримаємо кінцеву формулу

$$\lambda_{3 \min} = k \sqrt[3]{\frac{5 (V \lambda_{3 \min}^2 - \text{ctg}^2 0,5 \gamma_2 - 1)}{V \lambda_{3 \min}^2 - \text{ctg}^2 0,5 \gamma_2 \cos 0,5 \gamma_2}} \sqrt[3]{\frac{I \omega^2}{b^3 [\tau_1]}}. \quad (21)$$

Рівняння (21) розв'язати в аналітичному виді відносно $\lambda_{3 \min}$ неможливо. У зв'язку з цим приведемо його до виду, зручного для розв'язування методом естерації за стандартними програмами на будь-якій ЕОБ, в тому числі на програмуючих мікрокалькуляторах і персональних комп'ютерах.

Піднесемо ліву і праву частини (21) до кубічного ступеня, приведемо до загального знаменника, піднесемо до квадрату:

$$\begin{aligned} \lambda_{3 \min}^6 &= (\lambda_{3 \min}^2 - \text{ctg}^2 0,5 \gamma_2) \text{ctg}^2 0,5 \gamma_2 = \\ &= 25 k^6 \left[V \lambda_{3 \min}^2 - \text{ctg}^2 0,5 \gamma_2 - 1 \right]^2 \left[\frac{I \omega^2}{b^3 [\tau_1]} \right] \end{aligned} \quad (22)$$

і розв'яжемо відносно

$$\lambda_{3 \min} = \sqrt{\frac{25 k^6 [\sqrt{\lambda_{3 \min} - \operatorname{ctg} 0,5 \gamma_z} - 1]^2 \left[\frac{I_0^2}{b^3 [\tau_1]} \right]^2}{\lambda_{3 \min}^6 \operatorname{ctg}^2 0,5 \gamma_z} - \operatorname{ctg} 0,5 \gamma_z}. \quad (23)$$

Таким чином, маючи максимальне і мінімальне значення геометричного параметра λ_3 для ЧШМ із заданого базою і кутовим розмахом, можна призначити проектний розмір радіуса кривошипа, уточнивши його розрахунком на жорсткість і віб-ростійкість.

1. *Тур К. В.* Механика полиграфических автоматов. М., 1966. 2. *Тур К. В.* Метод инвариантов подобия в механике машин: Метод. разработки. Львов. 1974.

Стаття надійшла до редколегії 28.04.89