УДК 621.835

А. В. БОЙКО, А. С. ГЛАВАЦЬКИЙ

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАЛЕЖНОСТІ П'ЯТИЛАНКОВИХ КУЛАЧКОВО-ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

У складальних, друкарських, брошурувально-палітурних поліграфічних машинах широко застосовуються п'ятиланкові плоскі кулачково-важільні механізми, створені приєднанням до триланкового кулачкового механізму шарнірно-важільної групи з поступальною парою.

Проведена робота щодо виявлення і систематизації названих механізмів поліграфічних машин дозволила встановити:

1. Для більшості кривошипно-повзунних механізмів, які створюють другий контур, не дотримується умова повного обертання кривошипа, виражена теоремою Грасгофа

$$R_к+e\leqslant l_ш \text{ або } 1+\delta\leqslant\lambda,$$

де $\lambda=\frac{l_ш}{R_к}$, $\delta=\frac{e}{R_к}$; $R_к$ — радіус кривошипа; $l_ш$ — довжина шатуна; e — дезаксіал (надалі цей механізм будемо розглядати як коромислово-повзунний).

2. Проведені в [3], [1] аналітичні і параметричні дослідження кривошипно-повзунних механізмів і накопичена інваріантна інформація більші, ніж для 45 комбінацій безрозмірних геометричних параметрів $0=\lambda\leqslant0{,}9$; $0=\delta\leqslant0{,}8$ з інтервалом через 0,1 (в [1] $\lambda=\frac{R_к}{l_ш}$, $\delta=\frac{e}{l_ш}$) не поширюється на сімейство механізмів II контура (кулачково-важільних), тому що їх безрозмірні геометричні параметри перебувають у діапазоні

$$0{,}1\leqslant\lambda\leqslant1{,}65;\quad 0{,}5\leqslant\delta\leqslant1{,}2;\quad 0{,}1\leqslant\xi\leqslant1;$$

тут $\lambda=\frac{l_ш}{R_к}$, $\delta=\frac{e}{R_к}$, $\xi=\frac{S_\Sigma}{R_к}$, S_Σ — переміщення повзуна.

Ця обставина зумовлює постановку самостійної задачі про параметричні дослідження коромислово-повзунних механізмів і накопичення наперед обчислених таблиць значень позиційних інваріантів подібності найважливіших кінематичних і динамічних параметрів.

На рис. 1 зображена розрахункова схема кулачково-важільного механізму.

Нерівномірне переміщення коромисла, яке одночасно є штовхачем кулачкового механізму, зумовлює методику розрахунку функціональних залежностей комбінованого механізму.

Відомо [3], що будь-який нерівномірний обертальний рух ланок механізмів можна розглядати ніби складеним з двох рухів: переносного з постійною кутовою швидкістю, яка дорівнює дійсній миттєвій швидкості обертання ω, але при відсутності кутових прискорень $\varepsilon=0$, і відносного з кутовим прискоренням, яке дорівнює дійсному кутовому прискоренню ε, але при відсутності кутової швидкості.

Відповідно до цього для розв'язання поставленої задачі необхідно розглянути окремо кінематику кулачкового механізму і коромислово-повзунного механізму, а потім перейти до визначення функціональних залежностей кулачково-важільного механізму.

Якщо відомі геометричні параметри кулачкового механізму і закон переміщення штовхача, тоді відповідно з [3] можна визначити кутові переміщення γ, кутові швидкості ω_2, прискорення ε_2, кінетичну потужність N_2 коромисла

$$\gamma = a_{\text{к}} \cdot \gamma_\Sigma, \quad \omega_2 = b_{\text{к}} \frac{\gamma_\Sigma}{T}, \quad \varepsilon_2 = c_{\text{к}} \frac{\gamma_\Sigma}{T^2}, \quad N_2 = d_{\text{к}} \frac{J\gamma_\Sigma^2}{T^3},$$

де $a_{\text{к}} = \frac{\gamma}{\gamma_\Sigma} = f(\text{k})$, $b_{\text{к}} = f'(\text{k})$, $c_{\text{к}} = f''(k)$, $d_{\text{к}} = b_{\text{к}} \cdot c_{\text{к}}$ — позиційні інваріанти подібності переміщення, швидкості, прискорення, кінетичної потуж-

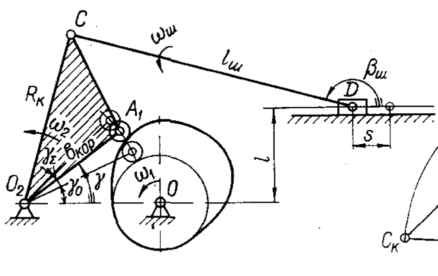

Рис. 1. Розрахункова схема кулачково-важільного механізму.

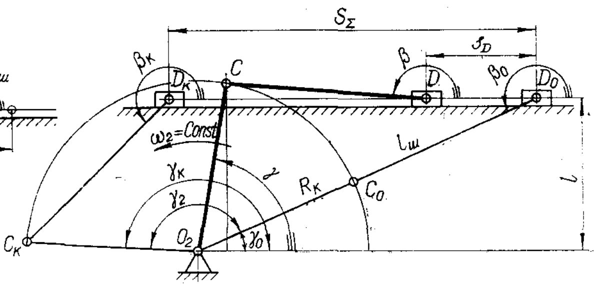

Рис. 2. Розрахункова схема коромислово-повзунного механізму.

ності, значення яких для конкретних законів періодичного руху знаходять з наперед обчислених таблиць [1]; $k = \frac{\varphi}{\varphi_y} = \frac{t}{T} = \frac{z}{z_m}$ — відносний час, або позиція механізму; $T = \frac{\varphi_y}{\omega_1}$ — час однозначних переміщень коромисла; $\omega_1 = \frac{\pi n}{30}$ — кутова швидкість обертання кулачкового валу; $\gamma_\Sigma = \gamma_{\text{к}} - \gamma_0$ — кутовий розмах коромисла.

Геометричні, кінематичні і кінетичні параметри коромислово-повзунного механізму (рис. 2) при постійній швидкості обертання коромисла $\omega_2 = \frac{\gamma_\Sigma}{T} = \text{const}$ виражаються такими залежностями.

Початковий кут відліку для коромисла

$$\gamma_0 = \arcsin \frac{\delta}{1+\lambda}, \tag{1}$$

де $\lambda = \frac{l_{\text{ш}}}{R_{\text{к}}}$, $\delta = \frac{e}{R_{\text{к}}}$, $\xi = \frac{S_\Sigma}{R_{\text{к}}}$ — безрозмірні геометричні параметри. Кут повороту шатуна

$$\beta = \arcsin \frac{\sin\gamma - \delta}{\lambda}. \tag{2}$$

Крайній кут повороту коромисла з умови обмеження кута тиску

$$\gamma_{\text{к}} = \arcsin(\delta + \lambda \sin[\beta_m]), \tag{3}$$

де $[\beta_m]$ — допустимий кут тиску.

Кутовий розмах коромисла

$$\gamma_\Sigma = \gamma_{\text{к}} - \gamma_0 = \arcsin(\delta + \lambda \sin[\beta_m]) - \arcsin \frac{\delta}{1+\lambda}. \tag{4}$$

Хід повзуна

$$S_\Sigma = R_{\text{к}}[(1+\lambda)\cos\gamma_0 + \lambda \cos[\beta_m] - \cos\gamma_{\text{к}}. \tag{5}$$

Поточне переміщення повзуна вліво від крайньої точки

$$s_D = (R_к + l_ш)\cos\gamma_0 - R_к\cos\gamma + l_ш\cos\beta. \qquad (6)$$

Інваріант подібності переміщень повзуна

$$s_1 = \frac{s_D}{R_к} = (1+\lambda)\cos\gamma_0 + \lambda\cos\beta - \cos\gamma, \qquad (7)$$

або

$$s_1 = \sqrt{(1+\lambda)^2 - \delta^2} + \lambda\cos\beta - \cos\gamma.$$

Інваріант подібності швидкості повзуна

$$V_{D1} = \frac{ds_1}{d\gamma} = \sin\gamma - \lambda\sin\beta\cdot\frac{d\beta}{d\gamma},$$

$$\frac{d\beta}{d\gamma} = \omega_{21} = \frac{\cos\gamma}{\lambda\cdot\cos\beta}, \qquad (8)$$

де ω_{21} — інваріант подібності кутової швидкості шатуна;

$$V_{D1} = -\cos\gamma\cdot\operatorname{tg}\beta + \sin\gamma = \frac{\sin(\gamma-\beta)}{\cos\beta}. \qquad (9)$$

Лінійна швидкість повзуна

$$V_D = V_{D1}\cdot|\omega_2\cdot R_к|. \qquad (10)$$

Інваріант подібності прискорення повзуна

$$W_{D1} = \frac{dV_{D1}}{d\gamma} = \cos\gamma + \sin\gamma\cdot\operatorname{tg}\beta - \frac{\cos^2\gamma}{\lambda\cos^3\beta}. \qquad (11)$$

Лінійне прискорення повзуна

$$W_D = W_{D1}\cdot|\omega_2^2\cdot R_к|. \qquad (12)$$

Інваріант кутового прискорення шатуна

$$\varepsilon_{21} = \frac{d\,\omega_{21}}{d\gamma} = -\omega_{21}^2\cdot\operatorname{tg}\beta - \omega_{21}\cdot\operatorname{tg}\gamma. \qquad (13)$$

Правила знаків при інших компоновках механізмів і напрямлені руху ланок визначаються відповідно з [3] або [1].

Функціональні залежності кулачково-важільного механізму з урахуванням зауважень про розчленування руху на переносний і відносний мають такий вигляд.

Лінійна швидкість повзуна

$$V_D = V_{D1}\cdot\omega_2\cdot R_к = V_{D1}\cdot b_к\cdot\frac{\gamma_\Sigma}{T}\cdot R_к.$$

Комплексний позиційний інваріант подібності швидкості повзуна

$$b_{к4} = \frac{V_D}{V_{сер}} = \frac{V_{D1}\cdot b_к\cdot\gamma_\Sigma\cdot T^{-1}\cdot R_к}{S_\Sigma\cdot T^{-1}} = \frac{\gamma_\Sigma}{\xi}\cdot V_{D1}\cdot b_к, \qquad (14)$$

де $b_{к4}$ включає інваріант подібності швидкості повзуна V_{D1} при $\omega_2 = \mathrm{const}$; інваріант подібності швидкості $b_к$ штовхача кулачкового механізму і безрозмірний множник $\frac{\gamma_\Sigma}{\xi}$, $\xi = \frac{S_\Sigma}{R_к}$.

З урахуванням (14) лінійна швидкість повзуна

$$V_D = b_{к4}\cdot\frac{S_\Sigma}{T}. \qquad (15)$$

Закон змінення абсолютних лінійних швидкостей повзуна конкретного кулачково-важільного механізму і закон змінення комплексних позиційних інваріантів подібності швидкості повзуна «одиничного» механізму однакові за характером і відрізняються тільки масштабом.

Лінійне прискорення повзуна

$$W_D = \frac{dV_D}{dt} = (\omega_2^2 \cdot W_{Di} + V_{Di} \cdot \varepsilon_2) \cdot R_к = (\gamma_\Sigma^2 \cdot b_к^2 \cdot W_{Di} \cdot T^{-2} + \\ + \gamma_\Sigma \cdot c_к \cdot V_{Di} \cdot T^{-1}) \cdot R_к. \tag{16}$$

Комплексний позиційний інваріант прискорення повзуна кулачково-важільного механізму

$$c_{к4} = \frac{W_D}{W_{сер}} = \frac{\gamma_\Sigma}{\xi} \cdot (\gamma_\Sigma \cdot b_к^2 \cdot W_{Di} + c_к \cdot V_{Di}) \tag{17}$$

включає позиційні інваріанти подібності швидкості $b_к$ і прискорення $c_к$ кулачкового механізму і кінематичні інваріанти подібності V_{Di} і W_{Di} коромислово-повзунного механізму, визначені для випадку руху коромисла з постійною кутовою швидкістю $\omega_2 = \frac{\gamma_\Sigma}{T} = \text{const}$.

З урахуванням (17) лінійне прискорення повзуна

$$W_D = c_{к4} \cdot \frac{S_\Sigma}{T^2}\,. \tag{18}$$

Для кожного конкретного випадку комплексні позиційні інваріанти подібності відображають ті ж функціональні залежності, що і абсолютні значення позиційних прискорень W_D повзуна кулачково-важільного механізму.

Поточне переміщення повзуна

$$s_D = \int_0^t V_D \cdot dt = R_к[(1 + \lambda)\cos\gamma_0 + \lambda\cos\beta_ш - \cos(a_к \cdot \gamma_\Sigma)]. \tag{19}$$

Кут тиску в коромислово-повзунному контурі

$$\beta_ш = \arcsin\frac{\sin(a_к\gamma_\Sigma) - \delta}{\lambda}\,. \tag{20}$$

Комплексний позиційний інваріант переміщення повзуна

$$a_{к4} = \frac{s_D}{S_\Sigma} = \frac{(1+\lambda)\cos\gamma_0 + \lambda\cos\beta_ш - \cos(a_к\gamma_\Sigma)}{(1+\lambda)\cos\gamma_0 + \lambda\cos[\beta_m] - \cos\gamma_к}. \tag{21}$$

Тоді (19) з врахуванням (21)

$$s_D = a_{к4} \cdot S_\Sigma. \tag{22}$$

Кутова швидкість шатуна при $\omega_2 \neq \text{const}$

$$\omega_ш = \omega_{2i} \cdot b_к \cdot \gamma_\Sigma \cdot T^{-1}. \tag{23}$$

Кутове прискорення шатуна

$$\varepsilon_ш = \varepsilon_{2i} \cdot b_к^2 \cdot \frac{\gamma_\Sigma^2}{T^2}\,. \tag{24}$$

Динамічні характеристики механізму також можна виразити в інваріантній формі з використанням кінематичних інваріантів подібності згідно з [3].

Момент сил інерції, зведених до коромисла кулачкового механізму,

$$M_{ін} = I_{зв} \cdot \varepsilon_2 = c_к \frac{I_{зв} \cdot \gamma_\Sigma}{T^2}\,, \tag{25}$$

де $I_{зв}$ — момент інерції мас, зведений до коромисла.

Кінетична потужність

$$N_к = M_{ін} \cdot \omega_2 = d_к \frac{I_{зв} \cdot \gamma_\Sigma^2}{T^3}\,, \tag{26}$$

де $d_к = b_к \cdot c_к$ — позиційний інваріант подібності кінетичної потужності.

У деяких випадках необхідно визначати силу інерції при переміщенні повзуна

$$P_{ін} = m_{зв} \cdot W_D = c_{к4} \cdot \frac{m_{зв} \cdot S_\Sigma}{T^2}, \qquad (27)$$

де $m_{зв}$ — маса, зведена до повзуна.

Кінетична потужність

$$N_D = P_{ін} \cdot V_D = d_{к4} \frac{m_{зв} \cdot S_\Sigma^2}{T^3}; \qquad (28)$$

тут

$$d_{к4} = b_{к4} \cdot c_{к4} = \frac{\gamma_\Sigma^2}{\xi^2} (\gamma_\Sigma \cdot b_к^2 \cdot W_{Di} + c_к \cdot V_{Di}) \cdot b_к \cdot V_{Di} - \qquad (29)$$

комплексний позиційний інваріант кінетичної потужності.

За період циклу однозначних переміщень позиційні кінематичні інваріанти змінюються за відповідними законами і у визначених фазах циклу досягають своїх максимальних значень, оцінюваних константами: для швидкостей $|b_{к4}|_{max} = B_4$; для прискорень $|c_{к4}|_{max} = C_4$; для кінетичної потужності $(d_{к4}|_{max} = D_4$.

Абсолютні максимальні значення кінематичних і кінетичних величин визначаються множенням констант піків цих величин на відповідні масштаби переходу [3].

$$V_{D\,max} = B_4 \cdot \frac{S_\Sigma}{T}, \qquad (30)$$

$$W_{Dmax} = G_4 \cdot \frac{S_\Sigma}{T^2}, \qquad (31)$$

$$N_{Dmax} = D_4 \cdot \frac{m_{зв} \cdot S_\Sigma^2}{T^3}. \qquad (32)$$

Одержані функціональні залежності (14)—(32) для п'ятиланкових кулачково-важільних механізмів дозволять на наступному етапі провести дослідження впливу взаємодії контурів при різних висхідних положеннях коромисла II контура на закони переміщення веденої ланки і дати конкретні рекомендації щодо синтезу цих механізмів з урахуванням кінематичних і динамічних характеристик.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бордюг А. И. Методы теории подобия и теории размерностей при расчете кривошипно-шатунных механизмов. Автореферат канд. дисс., ЛПИ, Львов, 1957.
2. Главацкий А. С. Вопросы оптимизации синтеза кулачково-рычажных механизмов. Автореферат канд. дисс., ЛПИ, Львов, 1968.
3. Тир К. В. Механика полиграфических автоматов. М., «Книга», 1965.

A. V. BOYKO, A. S. GLAVATSKY

FIVE-LINKS CAM MECHANISMS FUCTIONAL DEPENDANCE

Summary

Invariant forme analytic conclusion of basic kinematic and dynamic functional dependance of five-links cam-lever mechanisms is given.