
**КІНЕМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КУЛАЧКОВИХ ЗРІВНОВАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ
КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ**

Використання зрівноважувальних кулачкових механізмів (ЗКМ) як пристроїв для програмного зрівноважування надлишкових сил стосовно кривошипно-повзунного механізму (КПМ) дає змогу розвантажити вал кривошипа від надлишкового крутного моменту.

Ведена ланка (ВЛ) КПМ зазнає дії сил, що виникають при пружних деформаціях. Ці сили, які є функціями положення ВЛ, назвемо силами статичного опору. Вони можуть діяти як про-

тягом усіх однозначних переміщень ВЛ S_B , так і на деякій їх ділянці S_l ($S_l \leq S_B$).

Розглянемо трапецію $DFKB_1$, що є епюрою сил статичного опору (рис. 1). Введемо позначення: $\psi_B = \frac{S_B}{S_l}$ — коефіцієнт попереднього навантаження ВЛ силами статичного опору ($\psi_B \geq 0$); $c_B = \frac{S_0}{S_B}$ — жорсткість оброблюваної заготовки; $v = \frac{S_0}{S_B}$ — співвідношення довжини ділянки дії сил статичного опору до величини максимального однозначного переміщення ВЛ ($v \leq 1$).

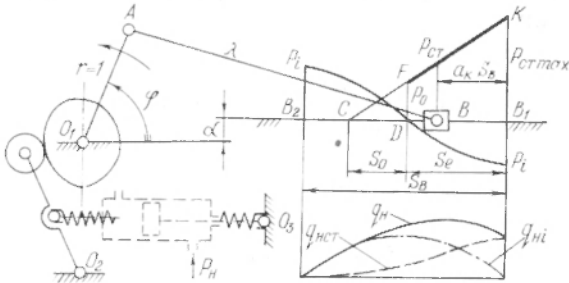


Рис. 1. Розрахункова схема кривошипно-повзункового та зрівноважувального механізмів.

Надлишкова енергія, що віддається з початку циклу однозначних переміщень,

$$A_{н.ст} = c_B S_B^2 (v - a_K) [\psi_B + 0,5(v - a_K)]. \quad (1)$$

Максимальне значення енергії відповідає позиції $a_K = 0$ (початок циклу)

$$A_{н.ст \max} = c_B S_B^2 v (\psi_B + 0,5v). \quad (2)$$

Інваріант надлишкової енергії

$$q_{н.ст} = \frac{A_{н.ст}}{A_{н.ст \max}} = \frac{(v - a_K) [\psi_B + 0,5(v - a_K)]}{v(\psi_B + 0,5v)}. \quad (3)$$

Також у певних випадках ВЛ зазнає дії сил інерції нерівномірно рухомих мас, пропорційних частоті обертання вала кривошипа. Кінетична енергія, яка віддається з початку циклу, запишеться у вигляді

$$A_{н.ін} = b_K^2 \frac{m_{зв} S_B^2}{2T^2}, \quad (4)$$

де $m_{зв}$ — зведена до ВЛ маса рухомих частин механізму; T — час циклу однозначних переміщень; b_K — інваріант швидкості ВЛ.

Максимальне значення кінетичної енергії відповідає позиції $b_k = b_{k \max} = B$

$$A_{н.ін \max} = B^2 \frac{m_{зв} S_b^2}{2T^2}. \quad (5)$$

Інваріант кінетичної енергії

$$q_{н.ін} = \frac{A_{н.ін}}{A_{н.ін \max}} = \frac{b_k^2}{B^2}. \quad (6)$$

Надлишкова енергія при спільній дії сил інерції та сил статичного опору описується рівнянням

$$A_{н\sigma} = A_{н.ін} + A_{н.ст} = \frac{c_b S_b^2}{2\rho_b} \left\{ b_k^2 + 2\rho_b (v - a_k) [\psi_b + 0,5(v - a_k)] \right\}, \quad (7)$$

де $\rho_b = \frac{c_b T^2}{m_{зв}}$ — число Ньютона.

Максимальна надлишкова енергія

$$A_{н\sigma \max} = \frac{c_b S_b^2}{2\rho_b} \{ b_k^2 + 2\rho_b (v - a_k) [\psi_b + 0,5(v - a_k)] \}_{\max}. \quad (8)$$

Інваріант надлишкової енергії

$$q_{н\sigma} = \frac{A_{н\sigma}}{A_{н\sigma \max}} = \frac{b_k^2 + 2\rho_b (v - a_k) [\psi_b + 0,5(v - a_k)]}{\{ b_k^2 + 2\rho_b (v - a_k) [\psi_b + 0,5(v - a_k)] \}_{\max}}. \quad (9)$$

Силовими навантажувачами ЗКМ можуть бути пружинні (розтягу, стиску, кручення) та пневматичні. Розглянемо лише навантажувачі з додатковим об'ємом (ресивером), силова характеристика яких описується рівнянням ізобари.

Енергія, накопичена пружинним навантажувачем з початку циклу, описується рівнянням

$$A_{з.пр} = c_{пр} S_z^2 (\psi_z + 0,5 a_{к.з}) a_{к.з}, \quad (10)$$

де S_z — максимальний хід штока навантажувача (ШН) ЗКМ; $a_{к.з}$ — інваріант його переміщень; $c_{пр}$ — жорсткість навантажувача; ψ_z — коефіцієнт його монтажної деформації. Максимальна накопичена енергія відповідає позиції $a_{к.з} = 1$

$$A_{з.пр \max} = c_{пр} S_z^2 (\psi_z + 0,5). \quad (11)$$

Інваріант накопиченої енергії

$$q_z = \frac{A_{з.пр}}{A_{з.пр \max}} = \frac{a_{к.з} (\psi_z + 0,5 a_{к.з})}{\psi_z + 0,5}. \quad (12)$$

Кінематичні характеристики ШН ЗКМ записуємо у такому вигляді [2]: інваріант переміщень

$$a_{к.з} = [\psi_3^2 + 2q_{ні}(\psi_3 + 0,5)] \frac{1}{2} - \psi_3; \quad (13)$$

інваріант швидкостей

$$b_{к.з} = q_{ні} \frac{\psi_3 + 0,5}{\psi_3 + a_{к.з}}; \quad (14)$$

інваріант прискорень

$$c_{к.з} = \frac{\psi_3 + 0,5}{(\psi_3 + a_{к.з})^2} [q_{ні}(\psi_3 + a_{к.з}) - \dot{q}_{ні} b_{к.з}]; \quad (15)$$

інваріант кінетичної потужності

$$d_{к.з} = \frac{1}{(\psi_3 + a_{к.з})^3} \{q_{ні}(\psi_3 + 0,5) [q_{ні}(\psi_3 + a_{к.з}) - \dot{q}_{ні} b_{к.з}]\}, \quad (16)$$

де $q_{ні}$ — інваріант надлишкової енергії залежно від характеру навантаження ВЛ.

Похідні інваріанту надлишкової енергії при спільній дії сил статичного опору та сил інерції визначаються диференціюванням

(9) за «відносним часом» $\dot{k} = \frac{t}{T}$ [3]:

$$\dot{q}_{ні\Sigma} = \frac{2b_{к} \{c_{к} - \rho_{в} [\psi_{в} + (v - a_{к})]\}}{\{b^2 + 2\rho_{в}(v - a_{к}) [\psi_{в} + 0,5(v - a_{к})]\}_{\max}}; \quad (17)$$

$$\ddot{q}_{ні\Sigma} = \frac{2(c_{к}^2 + b_{к}c_{к}) - 2\rho_{в} \{c_{к} [\psi_{в} + (v - a_{к})] - b_{к}\}}{\{b^2 + 2\rho_{в}(v - a_{к}) [\psi_{в} + 0,5(v - a_{к})]\}_{\max}}. \quad (18)$$

При застосуванні пневматичного навантажувача ЗКМ його кінематичні характеристики (виходячи з умови $q_{ні} = q_3$, $A_{ні \max} = A_3 \max$) записуємо у вигляді [1]

$$a_{к.з.пн} = q_{ні}; \quad b_{к.з.пн} = \dot{q}_{ні}; \quad c_{к.з.пн} = \ddot{q}_{ні}; \quad d_{к.з.пн} = \dot{q}_{ні} \cdot \ddot{q}_{ні}. \quad (19)$$

Як бачимо (рис. 2, 3), зменшення відносної довжини шатуна КПМ $\lambda = \frac{l_{ш}}{r_{кр}}$, де $l_{ш}$ — довжина шатуна; $r_{кр}$ — радіус кривошипа (ланка зведення), як і збільшення величини відносного дезаксіала $\alpha = \frac{a}{r_{кр}}$ підвищує значення констант піків швидкостей $B_3 = b_{к.з \max}$ та прискорень $C_3 = c_{к.з \max}$ ШН ЗКМ, причому зміна параметра λ чинить більш помітний вплив, ніж зміна параметра α при фіксованому значенні одного з цих параметрів на константи B_3 та C_3 . Зростання величини коефіцієнта попереднього натягу ψ_3

навантажувача ЗКМ помітно впливає на зменшення значень V_3 та C_3 , при $\psi_3 \geq 3$ цей вплив менш помітний, а після $\psi_3 > 5$ незначний. Звідси можна зробити висновок, що оптимальне значення ψ_3 перебуває в межах $3 \leq \psi_3 \leq 5$.

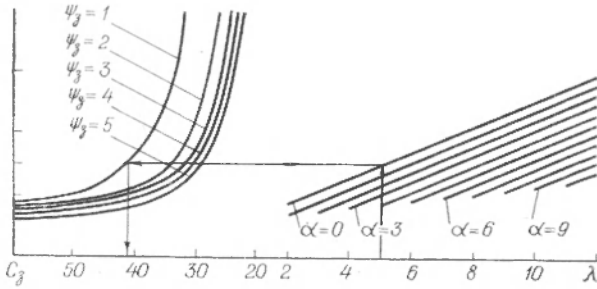


Рис. 2. Номограма для визначення константи піка швидкості V_3 ШН ЗКМ.

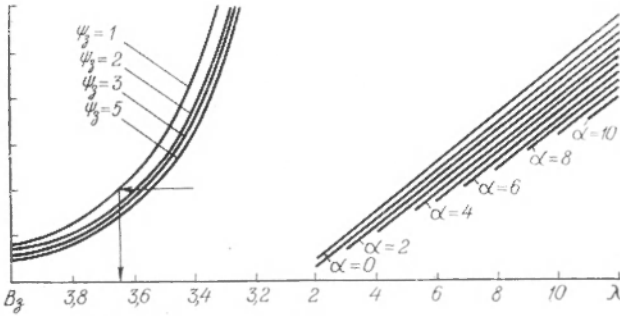


Рис. 3. Номограма для визначення константи піка прискорення C_3 ШН ЗКМ.

Таким чином, визначивши кінематичні характеристики ШН ЗКМ за формулами (13)—(16), а також константи піків швидкостей V_3 та прискорень C_3 (рис. 2, 3), можна синтезувати ЗКМ, використовуючи загальний метод проф. К. В. Тіра [3].

Список літератури: 1. Котлюз Е. И. Исследование уравновешивающих кулачковых механизмов с пневматическими нагрузителями. Дис... канд. техн. наук, Львов, 1972. 2. Полюдов А. Н. Исследование истинной динамики исполнительных и уравновешивающих кулачковых механизмов. Дис... канд. техн. наук, Львов, 1964. 3. Тир К. В. Механика полиграфических автоматов. М., Книга, 1965.

S. D. LAZEBNIK

**KINEMATIC CHARACTERISTICS OF CAM BALANCED PARTS
OF CRANK SLIDER MECHANISM**

Summary

According to the theory of similarity the method of kinematic characteristics of cam levelled mechanism with spring and pneumatic loader depending on type of loading of crank slider mechanism driven link is examined. Analytic dependence and nomograms can be used for optimal synthesis of cam balanced mechanisms.
