

УДК 62.01

**С. Г. Стельмащук**

*Українська академія друкарства*

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОКРЕМИХ ФАКТОРІВ НА ЕФЕКТ  
ЗРІВНОВАЖУВАННЯ НАДЛИШКОВИХ СИЛ У МЕХАНІЗМАХ  
НЕПОВНОЗУБИХ КОЛІС**

*Розглядаються питання впливу на ефект зрівноважування моментів інерції кулачкових коромисел, швидкості роботи та інших параметрів установки.*

*Аналіз, зрівноважування, сили інерції, механізм, зубчасті колеса, ефект*

Застосування програмних розвантажувачів у циклових механізмах (ПРЦМ) взагалі і в механізмах неповнозубих коліс зокрема, приводить якщо не до повного, то до суттєвого розвантаження всього привідного ланцюга передач від двигуна до виконавчого механізму від надлишкових інерційних сил. Аналітичні дослідження ПРЦМ висвітлювалися у працях [1; 3–6]. У цій роботі наведено результати дослідження впливу окремих факторів, зокрема інерційності коромисел кулачкового механізму ПРЦМ, на коефіцієнт зрівноважування, а також способи досягнення найбільшої його ефективності при варіюванні параметрів механізму і його швидкісного режиму.

**Вплив моментів інерції мас коромисел на ефект зрівноважування**

Момент сил інерції коромисел 2 і 4 (рис. 1) визначається залежністю:

$$M_{\text{кор}} = J_{\text{кор}} \cdot \varepsilon_{\text{кор.к}},$$

де  $J_{\text{кор}}$  — момент інерції мас коромисла.

Приведемо кінетичні моменти коромисел до валу  $O_3$ :

$$M_{\text{з кор}} = 2M_{\text{кор}} \cdot \frac{\omega_{\text{кор.к}}}{\omega_{\text{зк}}}.$$

Позиційний інваріант приведенного моменту після відповідних підстановок і перетворень [1, 6] набуде вигляду:

$$M_{\text{з кор.и}} = \frac{M_{\text{з кор}}}{[P_{\text{max}} S_{\text{ур}}]} = \frac{d_{\text{ку}}}{b_{\text{к}}} \cdot \frac{J_{\text{кор}}}{J_{\text{пр}}} \cdot \frac{1 + 2\psi_1}{1 + \psi_1} \cdot \frac{\gamma_m^2}{4i_1 \psi_{\text{вкл}}^3 \cdot B^2},$$

де  $d_{\text{ку}} = C_{\text{ку}} \cdot b_{\text{ку}}$ .

Для порівняння знайдемо співвідношення максимальних величин  $M_{\text{з кор.и}}$  і  $M_{\text{з ил}}$ :

$$\mu_M = \frac{M_{з\text{ кор и т}}}{M_{з\text{ и д т}}} = \frac{D_y}{D} \cdot \frac{J_{\text{кор}}}{J_{\text{пр}}} \cdot \frac{\gamma_m^2}{2\psi_{\text{вкл}}^2},$$

де  $D_y = |b_{\text{ку}} \cdot c_{\text{ку}}|_{\text{max}}$ .

Відношення  $\frac{J_{\text{кор}}}{J_{\text{пр}}}$  зазвичай становить 0,02–0,03, величина  $\gamma_m$  коливається в межах 0,2–0,3 рад, а  $\psi_{\text{вкл}} = 0,2\pi \dots 0,4\pi$  рад; відношення  $\frac{D_y}{D}$  дорівнює близько 10–12; тоді в найгіршому випадку маємо  $\mu_m = 0,041$ .

Так, максимальна величина моменту на валу  $O_3$  від кінетичних навантажень, що зумовлені коромисловими штовхачами не перевищує 4,1%. З цього випливає, що для спрощення розрахунку ПРЦМ можна знехтувати моментами інерції мас коромислових штовхачів.

### Забезпечення максимального зрівноважування при зміні швидкісного режиму НЗК КВ

Як і у звичайних зрівноважувальних механізмах при використанні пружинного навантажувача повне зрівноважування зі зміною швидкісного режиму ПРЦМ зберігається лише в тому разі, якщо ведена ланка навантажена зворотними статичними силами (наприклад, силами пружності пружин, ресор, стислого повітря тощо), а кінетичні навантаження порівняно невеликі. У цьому разі система ПРЦМ стає самоналагоджувальною [2].

У разі ж інерційного навантаження робочого органу НЗК КВ при відхиленні від розрахункового («крейсерського») режиму, зрівноваження порушується і система ПРЦМ буде несамоналагоджувальною.

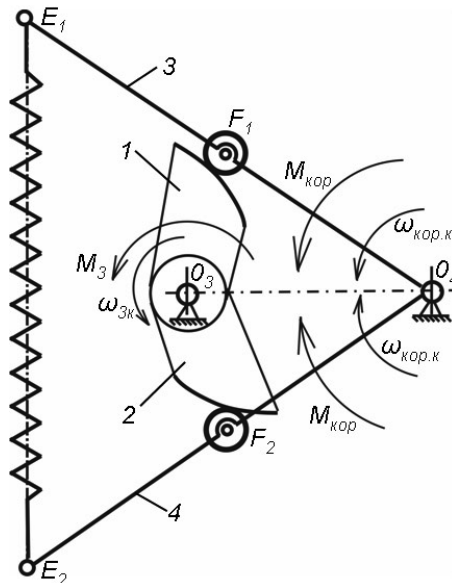


Рис. 1. Розрахункова схема ПРЦМ НЗК КВ

Теоретичний коефіцієнт зрівноважування веденої системи для режиму, який відрізняється від розрахункового (відповідні йому величини мають індекс  $i$ ), визначаємо зі співвідношення:

$$K_{yз\ i} = \frac{M_{з\ id,\ i} \cdot m_i}{[M_{з\ id,\ i} - M_{з\ i}]_m} \approx \frac{\left(\frac{\omega_{1i}}{\omega_1}\right)^2}{\left(\frac{\omega_{1i}}{\omega_1}\right)^2 - \eta_m}, \quad (1)$$

де  $M_3 = M_{з\ id} \cdot \eta$ ;  $\left(\frac{\omega_{1i}}{\omega_1}\right) = \frac{M_{з\ id,\ i} \cdot m_i}{M_{з\ id,\ i} \cdot m}$ ;  $\eta_m$  — максимальна величина коефіцієнта корисної дії (ККД) ПРЦМ;  $\omega_1$  і  $\omega_{1i}$  — розрахункова й змінена кутові швидкості ведучого валу НЗК КВ.

Як видно з графіків (рис. 2), побудованих на підставі залежності (1) для значень  $\omega_{1i} \neq \omega_1$  величини  $k_{yз}$  знижуються. Крім цього, з пониженням к.к.д. оптимальна швидкість, яка відповідає найбільшому зрівноважуванню, зміщується у бік менших  $\omega_1$ ; з підвищенням к.к.д. оптимальний режим наближається до розрахункового.

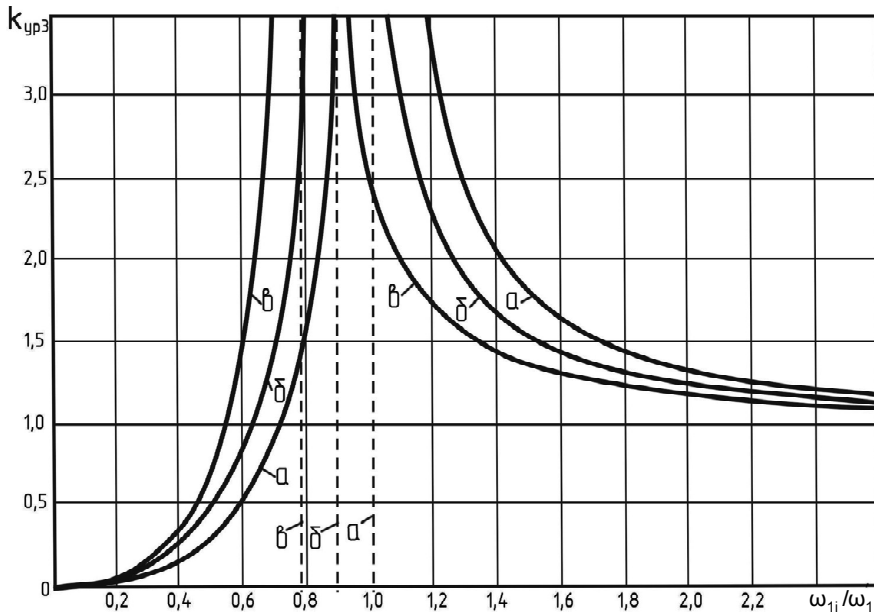


Рис. 2. Графіки коефіцієнтів зрівноважування  $k_{yз}$  при варіюванні к.к.д. ПРЦМ: а)  $\eta = 1,0$ ; б)  $\eta = 0,8$ ; в)  $\eta = 0,6$ .

Як випливає з [6], закон зміни позиційних інваріантів подібності залежить від висхідного закону періодичного руху (ЗПР) НЗК КВ і коефіцієнта  $\psi_1$ , а величина максимального ходу пружини — від висхідних величин  $J_{пр}$  і  $\omega_{2m}$ , а також від вибраних величин  $c$  і  $\psi_1$ .

Умова незмінності зрівноважування при зміні окремих параметрів ( $\omega_{1i}$ ,  $c_i$ ,  $J_{пр\ i}$ ) й незмінних профілях кулачків має вигляд:

$$\omega_1 \sqrt{\frac{J_{\text{пр}}}{c}} = \omega_{1i} \sqrt{\frac{J_{\text{пр } i}}{c_i}}$$

«Крейсерські» кутові швидкості з варіюванням величини  $J_{\text{пр } i}$  визначаються за формулою

$$\omega_{1i} = \omega_1 \cdot \sqrt{\frac{J_{\text{пр}}}{J_{\text{пр } i}}}$$

Змінюючи режим роботи НЗК КВ, повне зрівноваження можна зберегти при забезпеченні ідентичності закону переміщення кінця пружини, тобто  $s_{ki} = s_k$ . Цього можна досягнути відповідною зміною жорсткості пружини  $c_i$ , якщо величини  $\psi_1$ ,  $J_{\text{пр}}$  і ЗПР постійні. Необхідна величина  $c_i$  визначатиметься за формулою:

$$c_i = c \left( \frac{\omega_{1i}}{\omega_1} \right)^2.$$

Отже, в разі інерційного навантаження робочого органу НЗК КВ, при відхиленні швидкісного режиму від розрахункового, для повного зрівноваження потрібна заміна пружини або окремих пристрій, що змінює її жорсткість.

Наближеного зрівноважування (при змінній кутовій швидкості  $\omega_{1i}$ ) можна досягти й простішим способом, регулюючи монтажну деформацію пружини. З умови незмінності  $s_{\text{ур}}$  знайдемо необхідну відносну величину початкової деформації пружини:

$$\psi_i = (\psi_1 + 0,5) \cdot \left( \frac{\omega_{1i}}{\omega_1} \right)^2 - 0,5.$$

Повного зрівноважування в цьому випадку досягти не можна з тієї причини, що нова величина  $\psi_i$  потребує зміненого закону  $s_{ku}$  [6], тобто інших профілів кулачків.

Для того, щоб змінювати величину  $\psi_i$ , у конструкції ПРЦМ необхідно передбачати спеціальний пристрій, який дозволяє регулювати монтажну деформацію пружинного навантажувача залежно від швидкості роботи установки.

1. Кінетостатика програмних розвантажувачів циклових механізмів неповнозубих коліс з врахуванням дисипативних сил // Полігр. і вид. справа. — 2011. — №2 (54) — с. 82–89.
2. Полудов О. М. Использование инвариантов подобия при расчете кулачковых механизмов / О. М. Полудов // Научные записки (Укр. полиграф. ин-т.) — 1961. — Вып. 14. — с. 176–190.
3. Стельмашук С. Г. Визначення початкового радіуса кулачка програмного розвантажувача неповнозубих коліс / С. Г. Стельмашук // Наук. зап. (Укр. акад. друкарства). — 2006. — № 6. — с. 24–26.
4. Стельмашук С. Г. Дослідження динаміки механізмів неповнозубих коліс з програмними розвантажувачами. / С. Г. Стельмашук // Наук. зап. (Укр. акад. друкарства). — 2008. — №1 (13). — с. 63–67.
5. Стельмашук С. Г. Исследование динамики поворотно-фиксирующего механизма с уравновешиванием сил инерции / С. Г. Стельмашук // Механика машин. — 1974. — Вып. 44. — с. 55–60.
6. Стельмашук С. Г. Механіка програмних розвантажувачів механізмів неповнозубих коліс з кулачковим вмиканням / С. Г. Стельмашук // Полігр. і вид. справа. — 2004. — №41. — с. 34–41.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТ  
УРАВНОВЕШИВАНИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ СИЛ В МЕХАНИЗМАХ  
НЕПОЛНОЗУБЫХ КОЛЕС**

*Рассматриваются вопросы влияния на эффект уравновешивания моментов инерции коромысел, скорости работы и других параметров установки*

**ANALYSIS OF INFLUENCE OF SEPARATE FACTORS ON THE  
EQUILIBRATED EFFECT OF REDUNDANT FORCES IN THE  
MECHANISMS OF INCOMPLETE-COGGED GEARS**

*The article examines the influence on the effect of equilibrated moments of inertia of the yoke, speed and other parameters of the installation*

*Стаття надійшла 13.03.2014*