

С. Г. Стельмащук

Українська академія друкарства

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
ПРОГРАМНИХ РОЗВАНТАЖУВАЧІВ
ІЗ ЗАОКРУГЛЕНИМИ ВИСТУПАМИ КУЛАЧКІВ**

На базі аналітичного дослідження кулачків програмного розвантажувача показано спосіб забезпечення їх віддалення від загострення профілів і отримання ефективності їх використання.

Кулачки, програмний розвантажувач, механізм неповнозубих коліс, відносна віддаль

Основною проблемою синтезу програмних розвантажувачів (ПР) у системі механізмів неповнозубих коліс (ПЗК), особливо якщо кулачки-програмоносії розташовуються безпосередньо біля веденої маси, а потік

потужностей замикається на короткому лінійному проміжку, є проблема загострення кулачків на початку циклу, коли кутова швидкість кулачкового вала та, відповідно, і кінетична енергія ведених мас дорівнюють нулеві, а потенціальна енергія заряджених пружин має максимальну величину. Як показало дослідження радіусів кривизни кулачків ПР НЗК [Стельмашук С. Г. Дослідження радіусів кривизни профілів кулачків програмних розвантажувачів / С. Г. Стельмашук // Поліграфія і видавнича справа. — 2007. — Вип. 1 (45). — с. 125–129], крива залежності цих радіусів у функції позиційного інваріанта починається з нульових значень. З цього випливає, що виконати умову віддалення від загострення дійсних профілів кулачків протягом всього циклу неможливо, оскільки коромислові штовхачі мають бути забезпечені роликми відповідного діаметра. Як вимушене розв'язання цієї задачі — кулачки ПР мають виконуватись із заокругленими вершинами. Це приводить до деякого відхилення від теоретично повного зрівноважування надлишкових інерційних сил і моментів на початку кінематичного циклу, яке, як показав відповідний аналіз, становить не більше 2–3%.

Мета статті — провести дослідження ефективності застосування програмних розвантажувачів із заокругленими виступами кулачків. Для розв'язання цієї задачі потрібно спочатку зробити геометричний аналіз вершин кулачків і дати рекомендації для оптимального проектування цього пристрою, зокрема розробити програму для виготовлення кулачків-програмоносіїв.

Центри радіусів кривизни профілів кулачків ПРЦМ S (рис. 1) знаходяться за початковою лінією максимального радіуса-вектора (O_3F_m). Так, центри кривизни профілю ($F_m f_1$) розташовані на кривій ($F_m a$), а центри кривизни профілю ($F_m f_2$) — на кривій ($F_m b$), — геометричних місцях центрів кривизни профілів кулачків.

Позначимо через $x_0 = \frac{L_{FM}}{S_{sp}}$ відносні величини відстаней по нормалі n-p від точки профілю F до точки перетину нормалі з лінією (O_3F_m). Центр рівнорадіусного виступу має бути на лінії (O_3F_m) у такому місці M_0 , щоб виконувалась умова: відносна відстань x_0 повинна бути рівною відносному радіусу заокруглення r_{no} , тобто $x_0 = r_{no}$.

Таким чином, ділянка (F_0F_m) буде описана радіусом r_{no} і умову віддалення дійсних профілів кулачків від заклинювання буде здійснено, оскільки виконується нерівність $r_{no} > 0,5n_1v_d$.

Поточна величина x_0 визначається з трикутників O_3FO_4 і O_3FM [Стельмашук С. Г. Дослідження радіусів кривизни профілів кулачків програмних розвантажувачів / С. Г. Стельмашук // Поліграфія і видавнича справа. — 2007. — Вип. 1 (45). — с. 125–129]

$$x_0 = r_{ко} \frac{\sin \psi_{\kappa}}{\sin(\psi_{\kappa} + \frac{\gamma_i}{2} - \alpha_{\kappa})}, \quad (1)$$

де $\psi_{\kappa} = a_{\kappa} \cdot [2_i \psi_{вкл}]$.

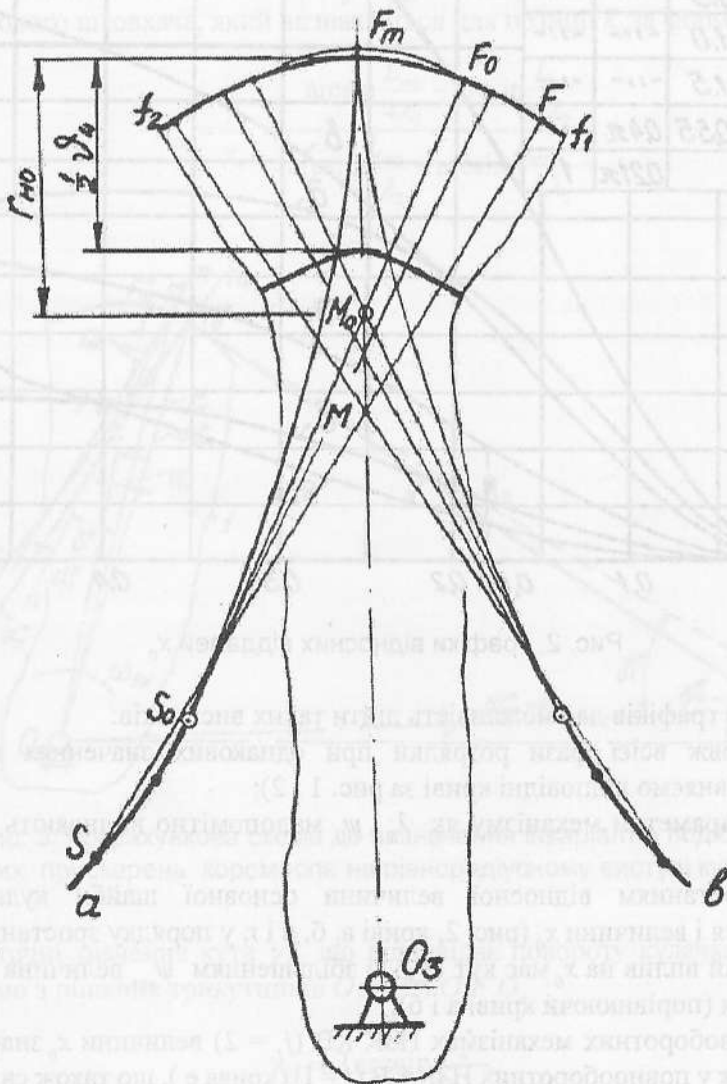
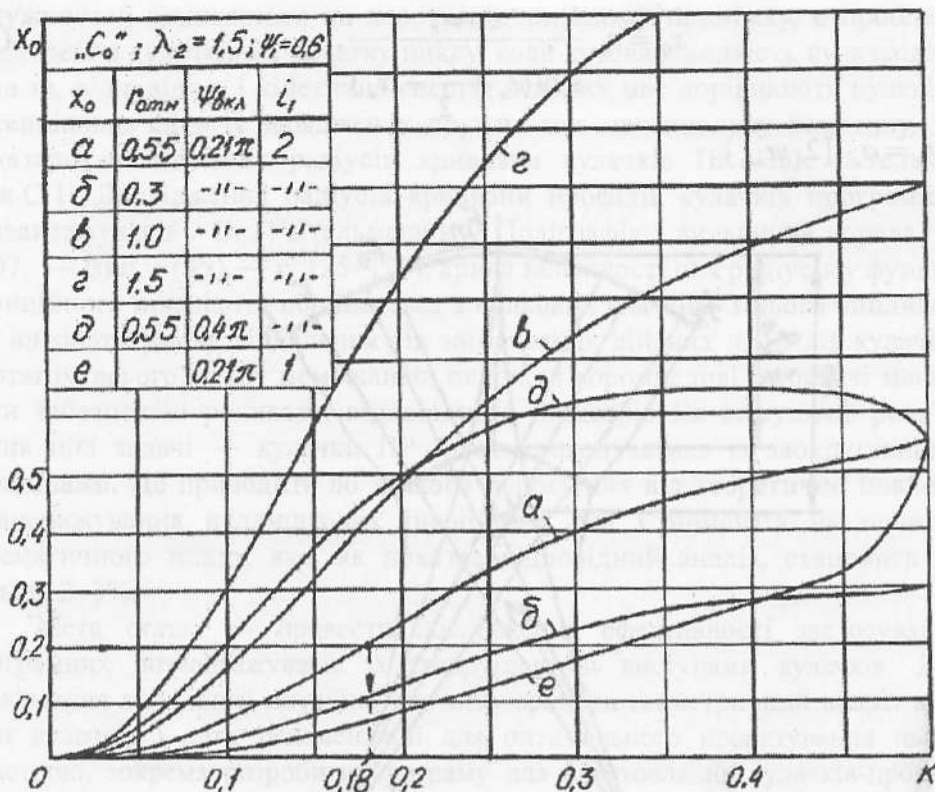


Рис. 1. Геометрія кулачка ПР з рівнорадіусним виступом

Графіки відносних відстаней x_0 побудовано за формулою (1) при варіюванні $r_{відн} = 0,3-1,5$; $\psi_{вкл} = 0,21\pi-0,4\pi$; $i_1 = 2$, $i_2 = 2$ і постійних — «Со», $\lambda_2 = 1,5$; $\psi_1 = 0,6$, наведені на рис. 2.

Рис. 2. Графіки відносних віддалей x_0

Аналіз графіків дає можливість дійти таких висновків:

впродовж всієї фази розрядки при однакових значеннях параметр $x_0 < \rho_{\text{кв}}$ (порівняємо відповідні криві за рис. 1 і 2);

такі параметри механізму як λ_2 і ψ , малопомітно впливають на величини x_0 ;

зі зростанням відносної величини основної шайби кулачка $r_{\text{відн}}$ збільшуються і величини x_0 (рис. 2, криві а, б, в і г, у порядку зростання $r_{\text{відн}}$);

значний вплив на x_0 має кут $\psi_{\text{вкл}}$: зі збільшенням $\psi_{\text{вкл}}$ величина x_0 також збільшується (порівнюючи криві а і б);

у напівоборотних механізмах НЗК КВ ($i_1 = 2$) величини x_0 значно вищі (крива а), ніж у повнооборотних НЗК КВ ($i_1 = 1$) (крива е), що також свідчить на користь напівоборотних механізмів.

Використовуючи графіки (рис. 2), обчислюємо для заданих параметрів механізму НЗК КВ положення $k_{\text{ор}}$ яке відповідає початку рівнорадіусного профілю, де $x_0 = r_{\text{отн}}$.

Для положення k_0 і уточненого за формулою (1) значення x_0 визначасмо інваріанти кутових переміщень кулачкового валу ПРЦМ і коромислового штовхача (рис. 3):

$$\psi_{ko}^* = a_{ko}^* \cdot 2i_1 \psi_{ккл},$$

$$\gamma_{io}^* = \gamma_n + \gamma_m (1 - a_{кво}^*)$$

де a_{ko}^* — інваріант подібності кутових переміщень кулачкового валу ПРЦМ для позиції, що відповідає положенню k_0 ; $a_{кво}^*$ — інваріант подібності переміщень коромислового штовхача, який визначається для позиції k_0 за формулою:

$$a_{кв}^* = \frac{\gamma_k}{\gamma_m} = \frac{\arcsin \frac{L_{m0}}{4\lambda_2} - \arcsin \frac{L_{k0}}{4\lambda_2}}{\arcsin \frac{L_{m0}}{4\lambda_2} - \arcsin \frac{L_{m0}-1}{4\lambda_2}}.$$

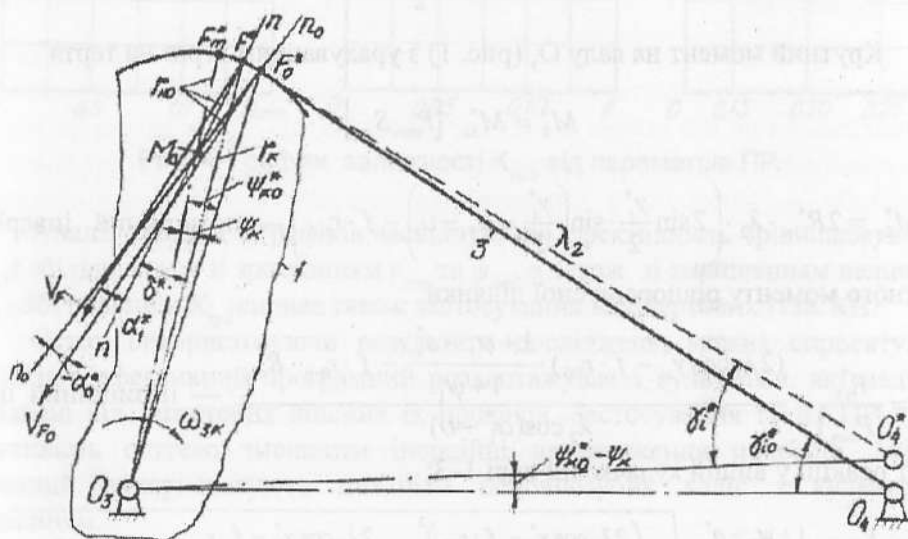


Рис. 3. Розрахункова схема до визначення інваріантів подібності кутових прискорень коромисла на рівнорадіусному виступі кулачка ПР

Поточні значення кута γ_i^* , що відповідає повороту кулачка на кут ψ_k^* , визначаємо з рішення трикутників O_3MF^* і $O_3F^*O_4^*$:

$$\gamma_i^* = 2 \arcsin \frac{r_k^*}{2\lambda_2},$$

$$\text{де } r_k^* = r_{no} \frac{\sin(\delta^* + \psi_k)}{\sin \psi_k};$$

$$\delta^* = \arcsin \left[\sin \left(\frac{\gamma_{io}^*}{2} - \alpha_0^* \right) \cdot \frac{\sin \psi_k}{\sin \psi_{ko}^*} \right];$$

де α_0^* — кут тиску, який для позиції k_0 визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\kappa} = \frac{\pm \frac{b_{\kappa y}}{b_{\kappa}} \cdot \frac{\gamma_m}{2i\psi_{\text{вкл}}} \cdot \cos(\gamma_n + \gamma_m(1 - \alpha_{\kappa y})) + 1}{\sin(\gamma_n + \gamma_m(1 - \alpha_{\kappa y}))}$$

Інваріанти подібності кутових переміщень коромисла на ділянці кулачка, де $r_{\text{но}} = \text{const}$, $r_{\text{но}} = \text{const}$, можна визначити за формулою:

$$\alpha_{\kappa y}^* = \frac{\gamma_n + \gamma_m - \gamma_i^*}{\gamma_m} \quad (2)$$

Поточне значення кутів тиску визначається рівністю:

$$\alpha_i^* = \frac{\gamma_i^*}{2} - \delta^*$$

Крутний момент на валу O_3 (рис. 1) з урахуванням втрат на тертя

$$M_3^* = M_{3n}^* \cdot [P_{\text{max}} S_{\text{уп}}],$$

де $M_{3n}^* = 2R_{13n}^* \cdot \lambda_2 \cdot \left(2 \sin \frac{\gamma_i^*}{2} \cdot \sin \left(\frac{\gamma_i^*}{2} - \alpha_i^* - \nu \right) - f \cdot r_{0,0} \right)$ — позиційний інваріант крутного моменту рівнорадіусної ділянки;

$R_{13n}^* = \frac{R_{13}^*}{[P_{\text{max}}]} = \frac{(2\lambda_2 \cos \gamma_{1i}^* - f \cdot r_{E0}) \cdot \frac{1 + \psi_1 - a_{\kappa y}^*}{1 + \psi_1} - f \cdot r_{0,0} \cdot R_{03n}^*}{\lambda_2 \cos(\alpha_i^* + \nu)}$ — позиційний інваріант реакції у вищій кулачковій парі 1–3;

$R_{03n}^* = \frac{R_{03}^*}{[P_{\text{max}}]} = \frac{1 + \psi_1 - a_{\kappa y}^*}{1 + \psi_1} \sqrt{1 + \left(\frac{2\lambda_2 \cos \gamma_{1i}^* - f \cdot r_{E0}}{\lambda_2 \cos(\alpha_i^* + \nu)} \right)^2} - 2 \frac{2\lambda_2 \cos \gamma_{1i}^* - f \cdot r_{E0}}{\lambda_2 \cos(\alpha_i^* + \nu)} \cdot \cos(\gamma_{1i}^* - \alpha_i^* - \nu)$ — позиційний інваріант реакції в кінематичній парі 0–3;

$\gamma_{1i}^* \approx \arcsin \frac{L_{m0} - a_{\kappa y}^*}{4\lambda_2}$ — кут відхилення лінії E_1O_4 від лінії центрів O_3O_4 .

Коефіцієнти зрівноважування у цьому випадку визначаються за формулою:

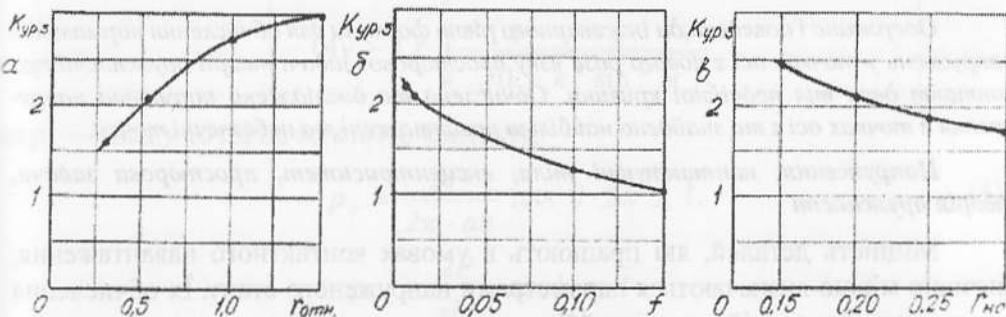
$$K_{\text{уз}} = \frac{M_{3\text{уд.м}}}{[M_{3\text{уд.}} - M_3^*]_m} = \frac{M_{3\text{уд.м}}}{[M_{3\text{уд}} - M_{3\text{м}}^*]_m},$$

де $M_{3\text{уд.м}}$ — максимальна величина інваріанта потрібного крутного моменту на валу O_3 ; $[M_{3\text{уд.}} - M_{3\text{м}}^*]_m$ — максимальна величина різниці інваріантів крутних моментів — необхідного $M_{3\text{уд.м}}$ та фактичного $M_{3\text{м}}^*$.

У таблиці і на рис. 4 подано графіки і значення $K_{\text{уз}}$ при варіюванні висхідних параметрів $r_{\text{но}}$, $\psi_{\text{вкл}}$, i , $r_{\text{отн}}$ і коефіцієнтів тертя в кінематичних парах ІР.

Коефіцієнти зрівноважування при варіюванні параметрів ПР

Параметр	λ_2		$\psi_{\text{вкл}}$		i_1		ψ_1	
Значення	1,0	1,5	$0,21\pi$	$0,4\pi$	1	2	0,4	0,6
$K_{\text{ур,з}}$	2,11	2,08	2,08	2,84	1,35	2,08	2,14	2,08

Рис. 4. Графіки залежності $K_{\text{ур,з}}$ від параметрів ПР

Аналіз таблиці і графіків засвідчує, що ефективність зрівноважування ($K_{\text{ур,з}}$) збільшується зі зростанням $r_{\text{отт}}$ та $\psi_{\text{вкл}}$, а також зі зменшенням величин f і $r_{\text{нс}}$. Збільшенню $K_{\text{ур,з}}$ сприяє також застосування півоберткових НЗК КВ.

Отже, використовуючи результати досліджень, можна спроектувати достатньо ефективний програмний розвантажувач з кулачками, які надійно віддалені від загострення дійсних їх профілів. Застосування таких ПР дасть можливість суттєво зменшити інерційні навантаження приводів, які як основний використовують механізм неповнозубих коліс з кулачковим вмиканням.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ РАЗГРУЖАТЕЛЕЙ С ЗАКРУГЛЕННЫМИ ВЫСТУПЛЕНИЯМИ КУЛАЧКОВ

На базе аналитического исследования кулачков программного разгрузителя показан способ обеспечения их отдаления от заострения профилей и получение эффективности их использования.

RESEARCH OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF PROGRAMMATIC UNLOADERS IS WITH ROUNDING APPEARANCES OF FISTS

On the base of analytical research of cams of programmatic unloaders the method of providing of their removal from sharpening profiles and getting the efficiency of their use is shown.