

ВПЛИВ УСТАНОВКИ ПРОГРАМНОГО РОЗВАНТАЖУВАЧА ЦИКЛОВИХ МЕХАНІЗМІВ НА КОЛИВНИЙ ПРОЦЕС ВЕДЕНОЇ ЛАНКИ В ПЕРІОД ЇЇ ЗУПИНКИ

Установка програмного розвантажувача циклових механізмів (ПРЦМ) на веденому валу кулачково-коромислового механізму приводить до кількісної та якісної зміни коливного процесу веденої маси. Частоти й амплітуди коливань, які збуджуються в системі, залежатимуть не тільки від частотних характеристик збуджуючих сил і ступеня демпфірування, а й від виду пружного елемента ПРЦМ і його силової характеристики.

У цій статті наводимо деякі результати досліджень коливного процесу веденої ланки під час її зупинки, які дають можливість пояснити часткове незрівноваження в момент початку наступного кінематичного циклу, а також дають змогу вибрати оптимальний варіант співвідношення жорсткостей валопровода і ПРЦМ, мас веденої ланки і ПРЦМ для мінімізації незрівноваженого моменту на ведучому валу.

При дослідженнях прийняті такі допущення: а) штовхач, кулачок і головний вал виконавчого механізму абсолютно жорсткі; б) коливання веденої ланки у кінці кінематичного циклу затухають внаслідок дисипативних причин.

Па одномасній динамічній моделі, зображеній на рис. 1, до якої зводиться виконавчий механізм в період зупинки, введені

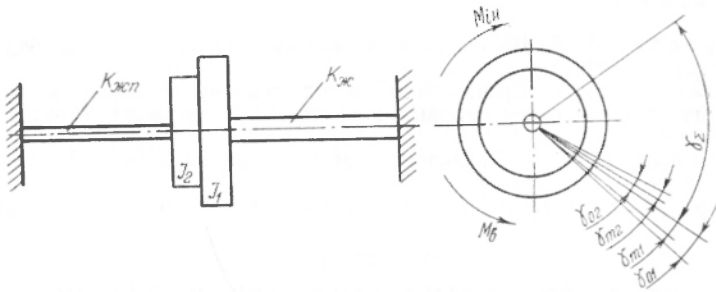


Рис. 1. Динамічна модель одномасної системи з ПРЦМ в період її зупинки.

такі позначення: I_1 — зведена маса веденої ланки; I_2 — маса програмоносія ПРЦМ; $M_{ин}$ — момент від сил інерції мас веденої ланки і програмоносія; M_6 — відновлювальний момент від пружних сил розвантажувача ПРЦМ; γ_{01} , γ_{02} — кутові зміщення веденої маси в момент зупинки веденого коромисла під дією моменту від сил інерції і відновлювального моменту розвантажувача ПРЦМ; γ_{m1} , γ_{m2} — коливні переміщення веденої маси в період зупинки веденого коромисла під дією моменту від сил інерції та відновлювального моменту ПРЦМ.

При відсутності ПРЦМ кутове зміщення веденої маси визначається найбільшим моментом від сил інерції мас і жорсткістю

$$\gamma_{01} = \frac{M_{ин \max}}{k_{ж}} = \frac{I_1}{k_{ж}} \frac{C \gamma_{\Sigma}}{T^2} = \frac{1}{p^2} \frac{C \gamma_{\Sigma}}{T^2}, \quad (1)$$

де C — константа піку прискорень веденої ланки; γ_{Σ} — кутовий розмах коромисла; T — час однозначного переміщення коромисла;

$p_1 = \sqrt{\frac{k_{ж}}{I_1}}$ — кутова частота вільних коливань веденої маси.

Диференціальне рівняння вільних коливань у період зупинки веденої ланки має вигляд

$$I_1 \frac{d^2 \gamma_{m1}}{dt^2} + k_{ж} \gamma_{m1} = Q, \quad (2)$$

де $Q = -\mu \frac{d \gamma_{m1}}{dt}$ — узагальнений момент, який відповідає неконсервативним силам; μ — коефіцієнт, який залежить від вигляду демпфіруючого пристрою.

Рівняння (2) можна звести до вигляду

$$\frac{d^2 \gamma_{m1}}{dt^2} - 2n \frac{d \gamma_{m1}}{dt} + p_1^2 \gamma_{m1} = 0, \quad (3)$$

$$2n = \frac{\mu}{I_1}.$$

Зобразимо рівняння (3) у безрозмірному вигляді [2], замінивши функції часу позиційними кінематичними інваріантами подіб-

ності, а абсолютний час відносним $\kappa = \frac{t}{T}$. За модульні величини при цьому прийємомо I_1, γ_Σ, T , тоді

$$\gamma_{m_1} = a_{m_1} [\gamma_{01}]; \quad \frac{d\gamma_{m_1}}{dt} = \dot{a}_{m_1} \left[\frac{\gamma_{01}}{T} \right]; \quad \frac{d^2\gamma_{m_1}}{dt^2} = \ddot{a}_{m_1} \left[\frac{\gamma_{01}}{T^2} \right],$$

де $a_{m_1}, \dot{a}_{m_1}, \ddot{a}_{m_1}$ — інваріанти переміщень, швидкостей та прискорень власне веденої маси.

Рівняння (3) набере вигляду

$$\ddot{a}_{m_1} + 2\Pi_1 \dot{a}_{m_1} + \nu_1^2 a_{m_1} = 0. \quad (4)$$

У рівняння (4) ввійшли дві безрозмірні постійні, які є критеріями подібності: $\Pi_1 = n_1 \cdot T$ — демпфірування системи; $\nu_1 = p_1 \cdot T$ — кутових частот вільних коливань веденої маси.

Загальний розв'язок рівняння (4) має вигляд

$$a_{m_1} = e^{-\Pi_1 \kappa} \cdot a_{01} \left(\cos \nu_{n_1} k + \frac{\Pi_1}{\nu_{n_1}} \sin \nu_{n_1} k \right), \quad (5)$$

де $\nu_{n_1} = \sqrt{\nu_1^2 - \Pi_1^2}$.

Найбільша амплітуда $a_{m_1, \max}$ буде при $k = \frac{2\pi}{\nu_{n_1}}$

$$a_{m_1, \max} = e^{-\Pi_1 \frac{2\pi}{\nu_{n_1}}} \cdot a_{01}, \quad (6)$$

причому

$$a_{01} = \frac{\gamma_{01}}{\gamma_\Sigma} = \frac{C}{p_1^2 T^2} = \frac{\pi^2}{2\nu_1^2}. \quad (7)$$

З врахуванням (7)

$$a_{m_1, \max} = e^{-\Pi_1 \frac{2\pi}{\nu_{n_1}}} \cdot \frac{\pi^2}{2\nu_1^2}.$$

При наявності ПРЦМ кутове зміщення γ_0 веденої маси визначається з рівності моментів відновлювального і моменту від пружних сил валопровода $\kappa_{ж} \cdot \gamma_0$. На розрахунковому швидкісному режимі відновлювальний момент і момент від сил інерції рівні в кожній позиції циклу і тому можемо записати (рис. 2)

$$|M_2| = |M_{ин}| = \frac{c_k I \gamma_\Sigma}{T^2}, \quad I = I_1 + I_2,$$

де $c_k = \frac{\pi^2}{2} (1 - a_k)$ — інваріант прискорень для лінійної системи

ПРЦМ в функції переміщення коромисла веденої ланки; a_k — інваріант переміщень коромисла веденої ланки.

Тоді

$$\gamma_{02} \cdot k_{ж} = \frac{\pi^2 I \gamma_\Sigma}{2 T^2} \left(1 - 2 \frac{\gamma_{02}}{\gamma_\Sigma} \right),$$

звідки

$$\gamma_{02} = \frac{\pi^2 I \gamma_\Sigma}{2 (k_{ж} T^2 + \pi^2 I)} = \frac{\pi^2 \gamma_\Sigma}{2 T^2} \left(\frac{1}{p_1^2 + \frac{\pi^2}{T^2}} \right). \quad (8)$$

У безрозмірному вигляді

$$a_{02} = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{\nu_2^2}{\pi^2} \right)}, \quad (9)$$

де $\nu_2 = \mu_2 T = \sqrt{\frac{k_{жк}}{I_1 + I_2}} \cdot T$ — критерій подібності кутових частот веденої маси з ПРЦМ.

Навантажувач ПРЦМ накладає на ведену ланку додаткові пружні зв'язки, в результаті чого система після збудження здійснюватиме коливний рух з новою частотою, яка відповідає зведеному коефіцієнту жорсткості $k_{жк1}$.

$$k_{жк1} = \frac{M_{ин\ max}}{\gamma_{02}} = k_{жк} + \frac{\pi^2}{T^2} I = \left[\nu_1^2 + \pi^2 \left(1 + \frac{I_1}{I_2} \right) \right] \frac{I_1}{T^2}, \quad (10)$$

де $\frac{\pi}{T} = \omega$ — кутова частота роботи виконавчого механізму; $\omega^2 I = k_{жк.п}$ — жорсткість пружних зв'язків ПРЦМ, зведених до веденої ланки. Коефіцієнт впливу установки ПРЦМ на зміщення веденої маси оцінимо величиною

$$K_{\gamma_{02}} = \frac{i_{02}}{\gamma_{01}} = \frac{a_{02}}{a_{01}} = \frac{1 + \frac{I_0}{I_1}}{1 + \frac{k_{жк.п}}{k_{жк}}} = \frac{1 + \frac{I_0}{I_1}}{1 + \frac{\pi^2}{\nu_2^2}}. \quad (11)$$

Диференціальне рівняння вільних коливань у безрозмірному вигляді під час зупинки запишемо

$$\ddot{a}_{m_2} + 2\Pi_2 \dot{a}_{m_2} + \nu_2^2 a_{m_2} = 0. \quad (12)$$

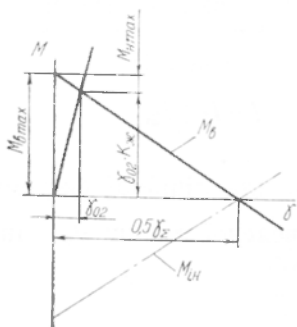


Рис. 2. Схема для розрахунку незрівноважених моментів.

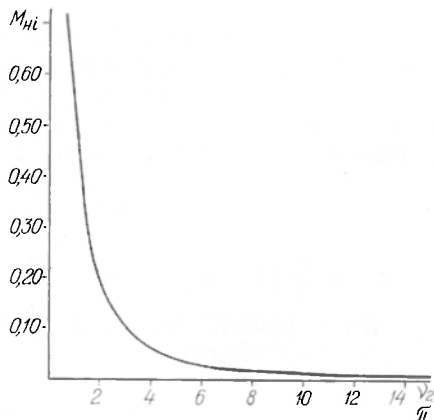


Рис. 3. Графік інваріантів незрівноважених моментів $M_{ин} = f(\kappa, \nu_2, \Pi_2)$ при повному демпфіруванні коливань у період зупинки.

Зауважимо, що

$$a_{m_2} = \frac{l_{m_2}}{l_{o_2}}; \quad \Pi_2 = n_2 T = \frac{\mu T}{2(l_1 + l_2)},$$

а загальний розв'язок рівняння (12)

$$a_{m_2} = e^{-\Pi_2 k} \cdot a_{0_2} \left(\cos \nu_{n_2} k + \frac{\Pi_2}{\nu_{n_2}} \sin \nu_{n_2} k \right), \quad (13)$$

де $\nu_{n_2} \sqrt{\nu_2^2 - \Pi_2^2}$.

Найбільша амплітуда $a_{m_2 \max}$ буде при $k = \frac{2\pi}{\nu_{n_2}}$

$$a_{m_2 \max} = e^{-\Pi_2 \frac{2\pi}{\nu_{n_2}}} \cdot \frac{1}{2 \left(1 + \frac{\nu_2^2}{\pi^2} \right)}. \quad (14)$$

Коефіцієнт зміни амплітуди власних коливань веденої системи при наявності ПРЦМ записуємо

$$K_A = \frac{a_{m_2 \max}}{a_{m_1 \max}} = \frac{e^{-\Pi_2 \frac{2\pi}{\nu_{n_2}} \cdot \nu_1^2}}{e^{-\frac{2\pi}{n_1} (\pi^2 + \nu_2^2)}} = \frac{e^{-\Pi_2 \frac{2\pi}{\nu_{n_2}}}}{e^{-\frac{2\pi}{\nu_{n_1}}}} \cdot K_{\gamma_0}, \quad (15)$$

$$\nu_1 = \nu_2 \sqrt{1 + \frac{l_2}{l_1}}.$$

На початок наступного кінематичного циклу на веденій ланці виконавчого механізму існує незрівноважений момент

$$M_H = (a_{0_2} - a_{m_2}) \pi^2 \frac{\gamma_{\Sigma} I}{T^2}.$$

Врахувавши (9) і (13), маємо

$$M_H = \frac{\pi^2}{2 \left(1 + \frac{\nu_2^2}{\pi^2} \right)} \left[1 - e^{-\Pi_2 k} \left(\cos \nu_{n_2} k + \frac{\Pi_2}{\nu_{n_2}} \sin \nu_{n_2} k \right) \right] \frac{I \gamma_{\Sigma}}{T^2}. \quad (16)$$

З формули (16) видно, що $M_H = 0$ при $k = 0$, тобто коли відсутні зупинки під час руху веденої ланки.

Якщо в період зупинки буде повне демпфірування, тобто $e^{-\Pi_2 k} = 0$, то

$$M_H = \frac{\pi^2}{2 \left(1 + \frac{\nu_2^2}{\pi^2} \right)} \frac{I \gamma_{\Sigma}}{T^2}, \quad (17)$$

а інваріант незрівноваженого моменту (рис. 3)

$$M_{H1} = \frac{M_H}{M_{H \max}} = \frac{1}{1 + \frac{\nu_2^2}{\pi^2}}. \quad (18)$$

Максимальне значення виразу $e^{-\Pi_2 \kappa} \left(\cos \nu_{n_2} \kappa + \frac{\Gamma_2}{\nu_{n_2}} \sin \nu_{n_2} \kappa \right)$ відповідає мінімуму функції $M_{\text{н}} = f(\kappa)$, тобто відносному часу, коли $\kappa = \frac{\alpha \tau_n}{T_n}$, де $\tau_n = \frac{2 \cdot T}{\sqrt{\nu_2^2 - \Pi_2^2}}$ — період власних коливань веденої ланки; T_n — час зупинки коромисла веденої ланки, $\alpha = 1, 2, 3 \dots n$ — прості цілі числа, які показують кількість коливань за час зупинки.

Отже, мінімальні незрівноважені моменти на початок наступного кінематичного циклу рівні

$$M_{\text{н min}} = \frac{\pi^2}{2 \left(1 + \frac{\nu_2^2}{\pi^2} \right)} \left[1 - e^{-\Pi_2 \alpha \frac{2\pi}{\sqrt{\nu_2^2 - \Pi_2^2}}} \times \right. \\ \left. \times \left(\cos 2\pi \alpha + \frac{\Gamma_2}{\sqrt{\nu_2^2 - \Pi_2^2}} \sin 2\pi \alpha \right) \right] \frac{\gamma_{\Sigma} l}{T^2}, \quad (19)$$

а їх інваріант

$$M_{\text{нi min}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\nu_2^2}{\pi^2} \right)} \left[1 - e^{-\Pi_2 \alpha \frac{2\pi}{\sqrt{\nu_2^2 - \Pi_2^2}}} \times \right. \\ \left. \times \left(\cos 2\pi \alpha + \frac{\Pi_2}{\sqrt{\nu_2^2 - \Pi_2^2}} \sin 2\pi \alpha \right) \right]. \quad (20)$$

Максимальне ж значення інваріанту незрівноваженого моменту буде при мінімальному значенні виразу (18), що відповідає відносному часу κ , в якому α кратні половинні коливання, тобто $\alpha = 0,5; 1,5; 2,5 \dots n - 0,5$.

З графіків рис. 4 видно, що $M_{\text{нi}} = 0$ при $\alpha = 0$, тобто безпаузний рух веденої ланки. При кожному конкретному значенні ν_2 , $M_{\text{нi}}$ асимптотично наближаються до постійної величини відповідної $M_{\text{нi}}$ за повного демпфірування. Зі збільшенням демпфірування це наближення настає раніше, наприклад, при $\nu_2 = 5$ і $\Pi_2 = 2$ $M_{\text{нi}} \sim 0,280$ при $\alpha = 3$, а при $\nu_2 = 5$ і $\Pi_2 = 0,25$ $M_{\text{нi}} \approx 0,280$ при $\alpha = 18$.

За інших рівних умов зростання ν_2 веде до зменшення $M_{\text{нi}}$ і розширює зону α до межі, де $M_{\text{нi}} = \text{const}$.

Наявність ПРЦМ порушує точність позиціонування веденої ланки в період зупинки. Однак зі збільшенням жорсткості валопровода точність позиціонування підвищується.

Проведені дослідження дають можливість зробити висновок, що наявність додаткових пружних зв'язків і мас ПРЦМ у системі виконавчого механізму викликає коливний процес веденої маси в період її зупинки. Частоти й амплітуди власних коливань веденої маси, а також незрівноважений момент на початок наступного кінематичного циклу залежать від співвідношення жорсткостей пружних зв'язків ПРЦМ і валопровода, мас веденої ланки і ПРЦМ, а також розрахункового швидкісного режиму виконав-

чого механізму. Для мінімізації незрівноваженого моменту слід підбирати співвідношення мас і жорсткостей таким чином, щоб $T_n = a \cdot \tau_n$ при цілих a .

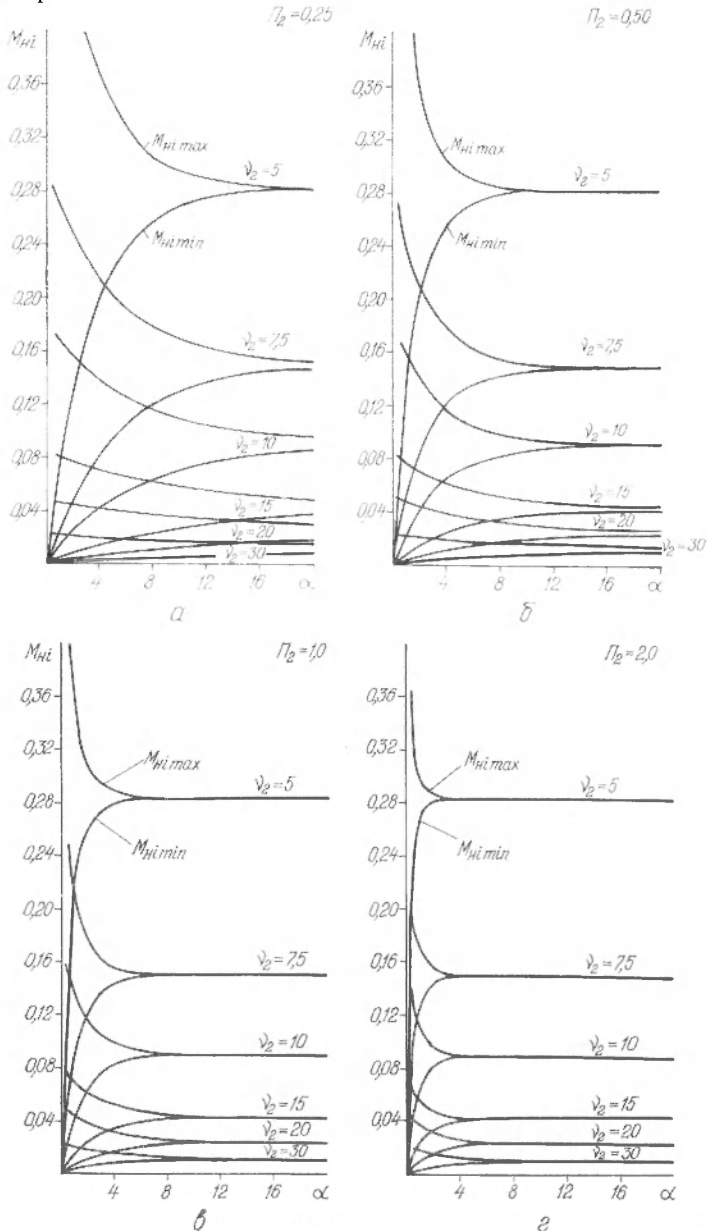


Рис. 4. Графіки інваріантів мінімальних і максимальних незрівноважених моментів, можливих на початку наступного кінематичного циклу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ключковський М. В. Розрахунок деяких програмних розвантажувачів із гнучкою ланкою.— «Поліграфія і видавнича справа», 1972, вип. 9.
2. Полюдов А. Н. Исследование истинной динамики исполнительных и уравновешивающих кулачковых механизмов. Автореферат канд. дис., Львов, 1964.
3. Саввин Э. А. Синтез законов движения инерционных кулачковых механизмов с учетом упругих звеньев ведомой системы. Автореферат канд. дис., Львов, 1967.
4. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. М., «Наука», 1967.
5. Тир К. В. Механика полиграфических автоматов. М., «Книга», 1965.

O. N. POLUDOV, M. S. KLUCHKOVSKI

THE EFFECT OF INSTALLING A PROGRAMMABLE UNLOADER OF CYCLING MECHANISMS (CMPU) ON AN OSCILLATORY PROCESS OF A DRIVEN LINK DURING ITS STOPPING

S u m m a r y

The system oscillatory process during the stopping of a driven link without the moment programmable unloader from inertia forces of cycling mechanisms of CMPU and after installing it are described.
