

УДК 621.835

І. К. ГЕОРГІЄВСЬКИЙ, канд. техн. наук,
О. М. ПОЛЮДОВ, канд. техн. наук

ІНЕРЦІЙНІ ПРОГРАМНІ РОЗВАНТАЖУВАЧІ ЦИКЛОВИХ МЕХАНІЗМІВ

Порівняно зі зрівноважувальними кулачковими механізмами (ЗКМ) програмні розвантажувачі циклових механізмів (ПРЦМ) простіші і більш ефективні [4]. Однак відомі ПРЦМ можуть використовуватися для зрівноважування надлишкових крутних моментів від сил інерції тільки на одному розрахунковому швидкісному режимі.

Розглянемо самоналагоджуваний пристрій ПРЦМ, який може зрівноважувати інерційні навантаження веденої ланки виконавчого механізму на всіх можливих швидкісних режимах його роботи. Паз кулачка ПРЦМ і його маса $m_{зр}$ повинні бути розраховані таким чином, щоб на веденому валу виконавчого механізму в будь-якій фазі циклу надлишковий крутний момент від маси виконавчого механізму (ВМ) M_n та зрівноважувальний момент $M_{зр}$ були рівні, але протилежні за знаком.

У кінці розбігу маса m має максимальну кінетичну енергію, яка після вибігу веденої ланки ВМ в ідеальному випадку повністю акумулюється масою $m_{зр}$

$$\frac{I\omega_{\max}^2}{2} = \frac{I_{зр}\omega_{зр\max}^2}{2}, \quad (1)$$

де ω_{\max} , $\omega_{зр\max}$ — максимальні кутові швидкості ведених мас ВМ, ПРЦМ; I , $I_{зр}$ — моменти інерції мас m , $m_{зр}$.

Якщо кутову швидкість виразити в інваріантному вигляді [3], то формула (1) запишеться як

$$\frac{B^2 \gamma_{\Sigma}^2 I}{2T^2} = \frac{B_{зр}^2 \gamma_{зр}^2 I_{зр}}{2T^2}, \quad (2)$$

де B , $B_{зр}$ — константи піків швидкостей законів руху ведених ланок ВМ, ПРЦМ; γ_{Σ} , $\gamma_{зр}$ — кутові розмахи ведених ланок ВМ, ПРЦМ; T — період віддалення веденої ланки ВМ.

З виразу (2) знаходимо

$$\frac{\gamma_{\Sigma}^2 I}{\gamma_{зр}^2 I_{зр}} = \frac{B_{зр}^2}{B^2} = \pm Y^2, \quad (3)$$

де Y є константою для всіх законів руху і характеризує співвідношення між енергомісткостями ведених ланок ВМ та ПРЦМ.

Програма акумулювання та віддачі енергії у кожній фазі циклу виражається рівнянням

$$\frac{B^2 \gamma_{\Sigma}^2 I}{2T^2} - \frac{b_k^2 \gamma_{\Sigma}^2 I}{2T^2} = \frac{b_{k\text{ зр}}^2 \gamma_{\Sigma}^2 I_{\text{зр}}}{2T^2}, \quad (4)$$

де b_k , $b_{k\text{ зр}}$ — інваріанти швидкості ведених ланок ВМ, ПРЦМ. З формули (4) з врахуванням (3) знаходимо

$$v_{k\text{ зр}} = \pm Y \sqrt{B^2 - b_k^2}. \quad (5)$$

Таким чином, використовуючи умови зрівноважування (2), (4), для ПРЦМ робимо висновки, аналогічні (3), (5) роботи [2] стосовно ЗКМ з інерційними навантажувачами. Тому вирази, які характеризують закон руху інерційного навантажувача ЗКМ [2], можна використовувати й для розрахунку інваріантів подібності переміщення $a_{k\text{ зр}}$, швидкості $b_{k\text{ зр}}$, прискорення $c_{k\text{ зр}}$ та кінетичної потужності $d_{k\text{ зр}} = c_{k\text{ зр}} b_{k\text{ зр}}$ закону руху інерційної маси ПРЦМ. Цей висновок можна перевірити таким шляхом. Запишемо вираз для крутного моменту від сил інерції на веденому валу ВМ

$$M = c_k \frac{I_{\Sigma}}{T^2}, \quad (6)$$

де c_k — інваріант прискорення веденої ланки ВМ, і вираз для зрівноважувального моменту, що створюється ПРЦМ на тому ж валу,

$$M_{\text{зр}} = d_{k\text{ зр}} \frac{I_{\Sigma} \gamma_{\Sigma}^2}{\omega_{\text{зр}} T^3}, \quad (7)$$

де $\omega_{\text{зр}}$ — біжуче значення кутової швидкості кулачка ПРЦМ.

$$\omega_{\text{зр}} = b_k \frac{\gamma_{\Sigma}}{T}. \quad (8)$$

Співвідношення між інваріантами кінетичної потужності ведених ланок ВМ і зрівноважувального пристрою відоме [2]

$$d_{k\text{ зр}} = -Y^2 d_k. \quad (9)$$

Підставляємо рівняння (8) і (9) у (7) і після спрощень одержуємо

$$M_{\text{зр}} = -Y^2 d_k \frac{I_{\Sigma} \gamma_{\Sigma}^2}{b_k \gamma_{\Sigma} T^2}. \quad (10)$$

З врахуванням формули (3) і $d_k = c_k b_k$ [2] вираз (10) перепишемо у вигляді

$$M_{\text{зр}} = -c_k \frac{I \gamma_{\Sigma}^2}{T^2}. \quad (11)$$

Порівнюємо вирази (11) і (6) та записуємо $M = -M_{зр}$, тобто рівність моментів від сил інерції ведених мас m і $m_{зр}$ на веденому валу ВМ спостерігається у будь-якій фазі циклу і не залежить від швидкісного режиму роботи виконавчого механізму.

Кулачок ПРЦМ переміщається за законом руху веденої ланки ВМ і тому профіль його пазу необхідно розраховувати у функції інваріанту переміщення веденої ланки ВМ a_k . Якщо, наприклад, ведена ланка переміщається за гармонійним законом

$$a_k = 0,5 - 0,5 \cos \pi k; \quad b_k = 0,5 \pi \sin \pi k, \quad (12)$$

де k — відносний час, то інваріант переміщення інерційного навантажувача

$$a_{k зр} = \pm Y \int_0^k \sqrt{B^2 - b_k^2} dk = 0,5 - 0,5 \sin \pi k, \quad (13)$$

тому що для закону періодичного руху «К» [2] $B = 0,5 \pi$ і $a_{k зр} = 0,5$ при $k = 0$.

Енергетичний параметр Y , а також інші константи законів руху інерційних навантажувачів детально досліджені і можуть бути знайдені аналітично або за допомогою номограм [1]. Для наведеного прикладу $Y = 1$.

Вираз (13) не можна безпосередньо використати для розрахунку профілю кулачка ПРЦМ, що рухається нерівномірно, а необхідно у нього підставити k , яке знайдено з формули (12). Одержуємо відносний інваріант переміщення інерційного навантажувача ПРЦМ, який потрібен для розрахунку профілю кулачка

$$a_{k зр1} = 0,5 - 0,5 \sin [\arccos (1 - 2a_k)]. \quad (14)$$

Значення нового аргументу a_k приймаються в границях від 0 до 1.

Запропоновані ПРЦМ можуть бути використані для зрівноваження інерційних навантажень у виконавчих механізмах, ведені ланки яких переміщаються за симетричним законом періодичного руху без зупинок або з двома рівними за тривалістю зупинками протягом циклу руху. За час зупинки ВМ ролик штовхача ПРЦМ переміщається з постійною швидкістю по спеціально передбаченому для цього радіальному профілю кулачка ПРЦМ. При цьому кут повороту навантажувача ПРЦМ γ_3 в період зупинки веденої ланки ВМ не залежить від швидкісного режиму, що дуже важливо для самоналагоджуваних систем програмного зрівноваження

$$\gamma_3 = \frac{B \gamma_3 \varphi_3}{\varphi_в}, \quad (15)$$

де φ_3 , $\varphi_в$ — фазові кути зупинки, віддалення веденої ланки ВМ.

Інерційні ПРЦМ, звільнюючи від пульсації кінетичної енергії ведену та ведучу системи виконавчого механізму і всі передатні механізми приводу, залишаються самоналагоджуваними си-

стемами [2], які не вимагають підналагоджування акумулюючих спроможностей навантажувача при переході виконавчого механізму на інший швидкісний режим роботи. Враховуючи, що такі ПРЦМ досліджуються вперше, необхідно експериментально перевірити працездатність та ефективність запропонованого пристрою. За схемою рис. 1 був запроєктований та виготовлений стенд, на якому й були проведені експериментальні дослідження.

За виконавчий механізм при експерименті був вибраний кулачковий механізм з кінематичним замиканням коромислового штов-

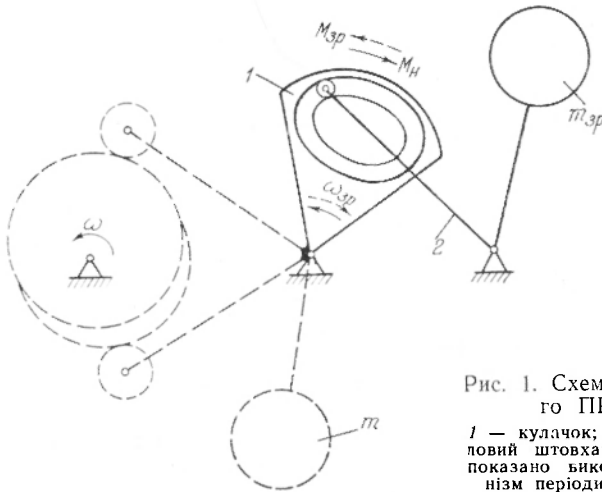


Рис. 1. Схема інерційного ПРЦМ:

1 — кулачок; 2 — коромисловий штовхач; (пунктиром показано виконавчий механізм періодичного руху).

хача. Коли ведена ланка рухалась без зупинок, кути віддалення й наближення прийняті $\varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{н}} = 180^\circ$, кути віддалення та наближення при русі веденої ланки з зупинками $\varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{н}} = 135^\circ$, кути верхньої і нижньої зупинок $\varphi_{\text{в.з}} = \varphi_{\text{н.з}} = 45^\circ$. Ведена ланка ВМ переміщалась за косинусоїдальним законом періодичного руху («К»). Максимальні кутові розмахи ведених ланок ВМ та ПРЦМ прийняті $\gamma_{\Sigma} = \gamma_{\text{зр}} = 30^\circ$. Тому співвідношення між моментами інерції ведених мас ВМ і ПРЦМ вибирали відповідно до енергетичного параметра Y з (3). Профіль кулачка ПРЦМ розраховували з врахуванням формули (14). У процесі експерименту змінювався швидкісний режим роботи в границях від 100 до 400 об/хв ведучого вала ВМ.

Реєстрацію крутних моментів проводили на ведучому та веденому валах ВМ за допомогою фольгових датчиків опору з базою 10 мм, які були наклеєні на відповідний вал. Сигнали знімали з однієї з діагоналей мостової схеми датчиків, підсилювали за допомогою шестиканального підсилювача ТУ6М і подавали потім на осцилограф, який реєстрував зміну крутних моментів на фотопапері. Границі фазових кутів знаходили за допомогою відміток на осцилограмах від мікроконтактів, що замикалися у кінцевих положеннях штовхачів. Частоту обертів ведучого вала стенда вимірювали стробоскопом.

Внутрішній профіль пазового кулачка ПРЦМ необхідний тільки у період несталого руху, тому що при сталому ролік штовхача завжди притискується до зовнішнього профілю паза силами інерції. Тому, щоб уникнути можливого заклинювання ПРЦМ у кінцевих положеннях ВМ, бажано обходитися без внутрішнього профілю кулачка, що й було зроблено в цьому експерименті.

Записи крутних моментів на кожному швидкісному режимі роботи ВМ проводилися двічі — до і після підключення ПРЦМ до виконавчого механізму (відповідно праві та ліві осцилограми,

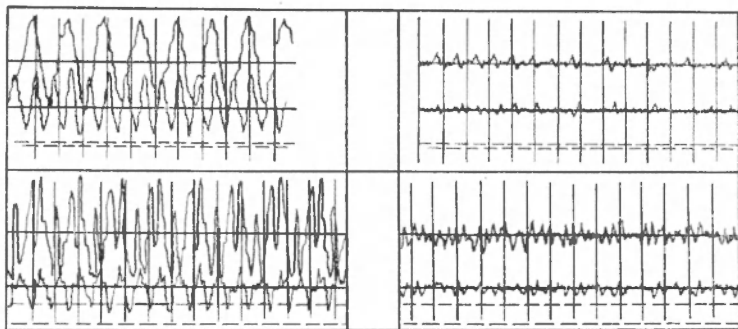


Рис. 2. Осцилограми крутних моментів.

рис. 2). Дві верхні осцилограми становлять записи крутних моментів на ведучому (нижні криві) і веденому (верхні криві) валах виконавчого механізму при 400 об/хв ведучого валу без зупинок веденої ланки. Нижні осцилограми записані при русі веденої ланки ВМ з зупинками і 350 об/хв ведучого валу. На осцилограмах видно відмітки фазових кутів у вигляді горизонтальних ліній різної довжини. Верхніми горизонтальними лініями позначено періоди віддалення та наближення веденої ланки ВМ, середина нижньої горизонтальної лінії є точкою переходу між періодами віддалення та наближення. На нижніх осцилограмах верхні відмітки відповідають зупинкам ВМ. Найявна також сітка вертикальних ліній, відстань між якими відповідає проміжку часу 0,1 с.

Записи наочно показують, що при підключенні ПРЦМ робота ВМ стабілізується, значно знижуються піки крутних моментів як на веденому, так і на ведучому валах ВМ. Вільні коливання ведених мас ВМ накладаються на криві крутних моментів і спотворюють їх.

При роботі ВМ з зупинками веденої ланки вільні коливання збуджуються на початку і в кінці кожного циклу, тому їх амплітуда значно більша, ніж при русі без зупинок, а ефект від застосування ПРЦМ знижується.

Обробка осцилограм показує, що ефект зрівноважування

$$k_{зр} = \frac{M_I}{M_{II}},$$

де M_I — значення максимального крутного моменту при роботі ВМ до підключення ПРЦМ; M_{II} — значення максимального крутного моменту при підключенні ПРЦМ до ВМ.

На рис. 3, а, б показані графіки $k_{зр} = f(n)$, що побудовані в результаті обробки осцилограм. Рис. 3, а показує ефективність застосування ПРЦМ при роботі ВМ без зупинок, рис. 3, б — при русі веденої ланки ВМ з зупинками.

Таким чином, запропонований пристрій працездатний; інерційний ПРЦМ ефективний на всіх швидкісних режимах роботи ВМ при русі веденої ланки як без зупинок, так і з зупинками; при

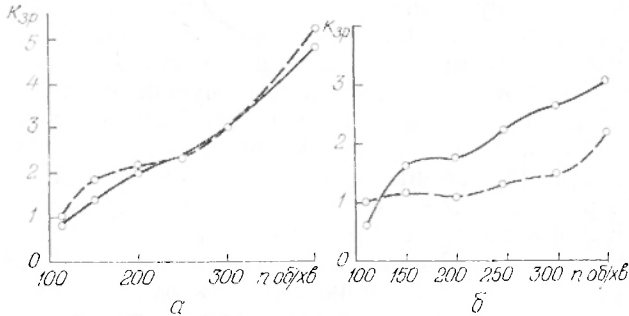


Рис. 3. Графіки $K_{зр} = f(n)$.

— на веденому валу; - - - - на ведучому валу.

зрівноважуванні ВМ, який працює з зупинками, ефективність від застосування ПРЦМ значно нижча, ніж при роботі ВМ без зупинок; при збільшенні швидкісного режиму ВМ ефект зрівноважування підвищується внаслідок збільшення частки інерційних навантажень, які діють на ВМ; у сталому режимі запропонований ПРЦМ працює надійно, проте дещо ускладнює роботу плавний розгін пристрою до робочого швидкісного режиму, оскільки в період несталого руху можливі заклинювання ролика штовхача у кінцевих положеннях кулачка ПРЦМ.

Список літератури: 1. Полюдов О. М., Георгієвський І. К. Кінематичні і динамічні константи законів руху інерційних навантажувачів зрівноважувальних кулачкових механізмів. — «Поліграфія та видавничі справа», 1972, № 8. 2. Петрук А. И. Самонастраивающиеся системы уравнивающих кулачковых механизмов. Автореф. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. Львов, 1968. 3. Тир К. В. Механика полиграфических автоматов. М., «Книга», 1965. 4. Яницкий В. Г. Исследование программных разгрузителей цикловых механизмов машин периодического действия. Автореф. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. Одесса, 1973.

I. K. GEORGIEVSKY, A. N. POLYUDOV

INERTIA PROGRAM UNLOADERS OF CYCLE MECHANISMS

Summary

The paper considers inertia program unloader, capable of balancing inertia loads of actuator driven section at all possible speeds. The paper also gives theoretical basis of design, as well as data on operation and efficiency testing of unloader.