

Г. Я. КРАСИЛЬНИКОВ, А. І. ПЕТРУК, В. Г. ЯНИЦЬКИЙ

**УЗАГАЛЬНЕНА МЕТОДИКА
СИНТЕЗУ ЗАКОНІВ РУХУ
ЗА ПРУЖНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ
ЗРІВНОВАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

Програмні розвантажувачі циклових механізмів (ПРЦМ) безпосередньо діють на ведені ланки виконавчих механізмів і розвантажують привід, а також ланки механізмів від пульсації надлишкової енергії.

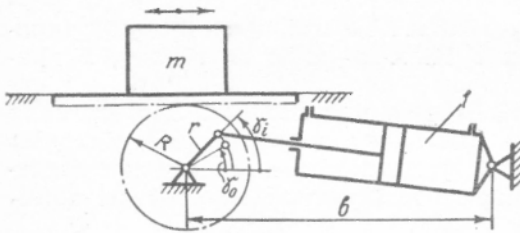


Рис. 1. Принципова схема ПРЦМ з пневматичним навантажувачем.

Основний принцип роботи ПРЦМ полягає в забезпеченні рівності протилежних за напрямком інерційних $P_{ін}$ і зрівноважуючих $P_{зр}$ сил протягом усього кінематичного циклу:

$$P_{ін} + P_{зр} = 0. \quad (1)$$

На рис. 1 зображена схема ПРЦМ з пневматичним навантажувачем для зрівноважування сил інерції маси з реверсивно-поступальним рухом. Зрівноважуюче зусилля визначається залежністю

$$P_{зр} = \frac{M_{зр}}{R} = \frac{N \sin \gamma_i}{\sqrt{N^2 + 1 - 2N \cos \gamma_0}} p_0 F_c \frac{r}{R}, \quad (2)$$

де $N = b/r$ — відносний параметр ПРЦМ; $\gamma_i = \gamma_0 + 2(\pi - \gamma_0)a_k$ — позиційний кут кривошипа; r — радіус кривошипа; γ_0 — початко-

вий кут кривошипа; a_k — інваріант переміщення маси; p_0 — відносний тиск у порожнині одного циліндра; F_e — ефективна площа поршня; R — радіус шестерні.

Використовуючи формулу (2), вираз (1) запишемо у формі

$$mc_k S/T^2 + p_0 F_e r/R \zeta_y(a_k) = 0, \quad (3)$$

або

$$\frac{d^2 a_k}{dk^2} + Y \zeta_y(a_k) = 0, \quad (4)$$

де m — зведена маса; c_k — інваріант прискорень; S — максимальне однозначне переміщення маси; T — час максимального однозначного переміщення; $K = t_i/T$ — відносний час [2];

$\zeta_y(a_k) = \frac{N \sin \gamma_i}{\sqrt{N^2 + 1 - 2N \cos \gamma_0}}$ — безрозмірна пружна характеристика ПРЦМ;

$Y = \frac{p_0 F_e r T^2}{RmS}$ — постійна закону руху, яка залежить від абсолютних параметрів ПРЦМ.

Залежності $\zeta_y(a_k)$ і Y визначаються типом навантажувача (пружинний, торсійний тощо) і конструкцією ПРЦМ.

Синтез закону руху веденої маси за пружною характеристикою ПРЦМ зводиться до розв'язання диференціального рівняння (4). У загальному випадку залежність $\zeta(a_k)$ має нелінійний характер, тому одержати точний або найближчий розв'язок рівняння (4) не завжди можливо. Для окремих випадків у працях [1, 3—5] наведені найближчі розв'язки при слабо вираженій нелінійності $\zeta_y(a_k)$.

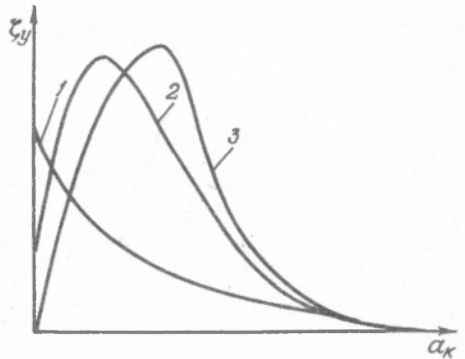


Рис. 2. Типи пружних характеристик ПРЦМ.

Наведемо методику синтезу законів періодичного руху за пружною характеристикою ПРЦМ, в основі якої — апарат оптимізації багатовимірних функцій. Її використання можливе за будь-якої нелінійності пружної характеристики ПРЦМ.

У загальному випадку можна виділити три типи пружних характеристик ПРЦМ (рис. 2). Для безрозмірної характеристики типу 1 інваріанти прискорень веденої ланки описує вираз

$$c_k = B_0 \cos \pi K + B_1 \cos 3\pi K + \dots + B_n \cos (2n+1)\pi K. \quad (5)$$

Після подвійного інтегрування (5) одержимо залежність для інваріантів переміщень

$$a_k = \frac{1}{\pi^2} \left(B_0 + \frac{B_1}{9} + \dots + \frac{B_n}{(2n+1)^2} \right) - \frac{B_0}{\pi^2} \cos \pi K -$$

$$-\frac{B_1}{9\pi^2} \cos 3\pi K - \dots - \frac{B_n}{(2n+1)^2} \cos (2n+1)\pi K. \quad (6)$$

Тепер задача синтезу закону руху за пружною характеристикою ПРЦМ зводиться до знаходження

$$F(B_1, \dots, B_n) = \min, \quad (7)$$

де $F(B_1, \dots, B_n) = (c_h - Y_{\zeta y}(a_h))_{\max} = \Delta_{\max}$.

Здійснюючи напрямлену зміну коефіцієнтів B_1, \dots, B_n рівняння (5), можна одержати виконання умови (7), побудувавши програму для ЕЦОМ за відомими алгоритмами оптимізації багатовимірних функцій. Коефіцієнт B_0 рівняння (5) знаходимо зі значень коефіцієнтів B_1, \dots, B_n , якщо виконуються умови

$$a_h = 1 \quad \text{при} \quad K = 1. \quad (8)$$

Відповідно до (8) B_0 визначаємо за формулою

$$B_0 = \frac{\pi^2}{2} - \frac{B_1}{9} - \dots - \frac{B_n}{(2n+1)^2}. \quad (9)$$

За такою ж схемою проводять синтез законів руху, використовуючи пружні характеристики інших типів (рис. 2).

Для характеристики типу 2 одержуємо

$$c_h = A_0 \sin 2\pi K + A_1 \sin 4\pi K + \dots + A_j \sin (2j+2)\pi K + B_0 \cos \pi K + B_1 \cos 3\pi K + \dots + B_n \cos (2n+1)\pi K, \quad (10)$$

$$a_h = \frac{1}{\pi} \left[\left(\frac{A_0}{2} + \frac{A_1}{4} + \dots + \frac{A_j}{2j+2} \right) K + \frac{B_0}{\pi} + \frac{B_1}{9\pi} + \frac{B_n}{(2n+1)^2 \pi} \right] - \frac{A_0}{4\pi^2} \sin 2\pi K - \frac{A_1}{16\pi^2} \sin 4\pi K - \dots - \frac{A_j}{[(2j+2)\pi]^2} \sin (2j+2)\pi K - \frac{B_0}{\pi^2} \cos \pi K - \frac{B_1}{9\pi^2} \cos 3\pi K - \dots - \frac{B_n}{[(2n+1)\pi]^2} \cos (2n+1)\pi K, \quad (11)$$

$$A_0 = 2 \left(\pi - \frac{A_1}{4} - \frac{A_2}{6} - \dots - \frac{A_j}{2j+2} - \frac{2B_0}{\pi} - \frac{2B_1}{9\pi} - \dots - \frac{B_n}{(2n+1)^2 \pi} \right). \quad (12)$$

Для пружної характеристики типу 3 відповідні співвідношення мають вигляд

$$c_h = A_0 \sin 2\pi K + A_1 \sin 4\pi K + \dots + A_j \sin (2j+2)\pi K, \quad (13)$$

$$a_k = K + \frac{A_0}{4\pi^2} \sin 2\pi K - \frac{A_1}{15\pi^2} \sin 4\pi K - \dots - \frac{A_j}{[(2j+2)\pi]^2} \sin (2j+2)\pi K, \quad (14)$$

$$A_0 = 2 \left(\pi - \frac{A_1}{4} - \frac{A_2}{6} - \dots - \frac{A_j}{2j+2} \right). \quad (15)$$

Обчислювальний процес реалізовано для ЕЦОМ «Наири К» з використанням для програми оптимізації модифікованого методу Пауела.

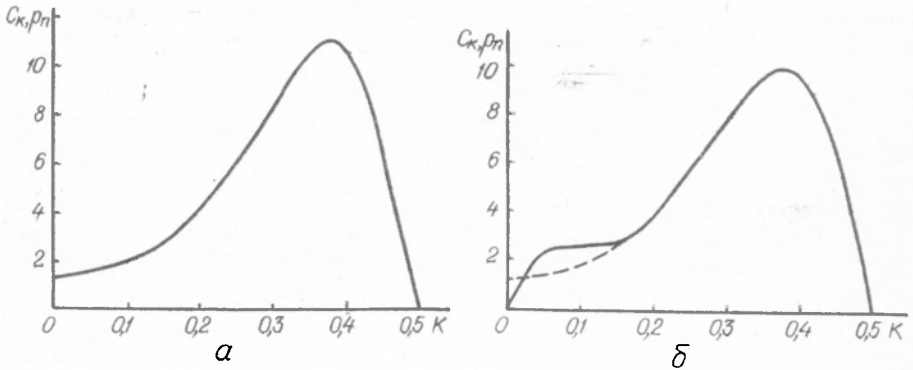


Рис. 3. Графіки інваріантів прискорень c_k (суцільна лінія) і зведених відносних зусиль ПРЦМ p_n (пунктирна лінія) для синтезованих законів руху.

Застосування чисельного методу дає змогу проводити напрямлений синтез за умовою (7) для будь-якої ділянки інтервалу відносного часу $0 \leq K \leq 1$, а також впливати на характеристики синтезованого закону шляхом вибору відповідної цільової функції оптимізації. Зокрема, для синтезу деяких законів руху використовували цільову функцію

$$Q = \Delta_{\max}^2 + gY^2, \quad (16)$$

де g — коефіцієнт вагомості.

Функція (16) дає змогу в процесі оптимізації обмежувати в заданих межах константу піку прискорень синтезованого закону при деякому збільшенні несуміщення закону зміни крутних моментів від сил інерції та зрівноважуючих моментів.

Для прикладу на рис. 3 показані графіки деяких синтезованих законів руху для ПРЦМ, виконаного за схемою рис. 1, з параметрами $N=8$, $\gamma_0=0,11$ рад.

На графіках показано (рис. 3), як змінюються залежно від відносного часу K інваріанти прискорень c_k і відносні зусилля ПРЦМ $p_n = Y\zeta_y$ (для наочності графіки c_k і p_n суміщені, хоча їх ординати завжди протилежного знака).

Закон руху, графіки прискорень і відносних зусиль якого зображені на рис. 3, а, описується залежностями (10), (11) з коефіцієнтами $A_0=6,439037$; $A_1=4,698628$; $A_2=1,732029$; $A_3=-0,594222$; $A_4=0,115$; $B_0=1,367908$.

При постійній $Y=10,9149$ значення констант піків швидкостей $B=2,676$; прискорень $C=10,939$; кінетичної потужності $D=21,911$.

При синтезі даного закону умова (7) виконується на всьому інтервалі відносного часу. Максимальна похибка

$$\Delta_{\max} = c_k - p_n = -0,239,$$

що відносно константи C становить близько 2%.

На рис. 3, б показані графіки c_k і p_n для закону руху, який описується залежностями (13), (14) з коефіцієнтами $A_0=7,331961$; $A_1=-3,595672$; $A_2=1,977630$; $A_3=-0,033554$; $A_4=0,379814$; $A_5=0,133655$ і має такі значення постійної і констант:

$$Y=10,0454; B=2,567; C=10,026; D=19,317.$$

Під час синтезу закону руху умова (7) виконується на ділянці відносного часу $0,15 \leq K \leq 0,5$, через те на ділянці $0 \leq K \leq 0,15$ маємо похибки при $K=0$ $\Delta=-1,259$; при $K=0,06$ $\Delta=1,140$. У цьому випадку, свідомо допускаючи незбігання c_k і p_n , при невеликих абсолютних значеннях останніх одержуємо графік c_k з нульовим значенням у початковій фазі руху, що забезпечує більш сприятливі динамічні умови роботи.

Список літератури: 1. Красильников Г. Я. Исследование пневматических уравновешивающих устройств машин периодического действия: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — К., 1977. — 18 с. 2. Петрук А. И. Вопросы синтеза механизмов цикловых машин. — К.: Наук. думка, 1981. — 120 с. 3. Полюдов А. Н. Программные разгрузатели цикловых механизмов. — Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1982. — 181 с. 5. Тур К. В. Программное уравновешивание избыточных сил в машинах-автоматах. Львов, 1974. — 71 с.

The questions of law motion synthesis of unlined elastic characteristic of levelling device are investigated. The possibilities for obtaining law motion with definite properties and quality of levelling driven links inertia forces are shown. The authors give the examples of law motion practical synthesis for definite design of pneumatic programme cycle mechanism unloaders.

Стаття надійшла до редколегії 10. 03. 85