

УДК 681.62.067

О.М. Полюдов

СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННИХ МЕХАНІЗМІВ ЗІ ЗМІННОЮ ДОВЖИНОЮ КРИВОШИПА

Кривошипно-повзунні механізми застосовують у поліграфічних машинах-автоматах, коли влаштовує закон періодичного руху вихідної ланки, що є функцією геометричних параметрів механізму, і немає потреби в паузах. Разом з тим часто виникає потреба в значному переміщенні повзуна за змінним законом та отриманні паузи в кінці або на початку кінематичного циклу. Розв'язати таку задачу можна за рахунок програмованої зміни радіуса кривошипа OA_1 (рис. 1) кулачком, нерухомо закріпленим на станині.

Методика синтезу таких механізмів викладена в [2], але вона має той недолік, що геометричні параметри механізму визначаються під час синтезу, а не задаються у вихідних даних.

Беремо вихідні дані: максимальний хід повзуна δ , довжина шатуна l , цикловий кут повороту кривошипа $\varphi_{\Sigma} = \varphi_a + \varphi_p = 180^\circ$ – при русі без пауз і $\varphi_{\Sigma} = \varphi_a + \varphi_p + \varphi_n$ – при наявності паузи, де φ_p – кут повороту кривошипа за час розбігу, φ_a – за час вибігу, φ_n – паузи в русі повзуна.

На рис. 1 зображений механізм у положенні, в якому кут $OA_2B_2 = 90^\circ$, закінчується розбіг і починається вибіг, а швидкість повзуна досягає V_{max} . З плану швидкостей у цій позиції механізму визначаємо

$$V_{max} = \frac{\omega \rho_m}{\sin \varphi_p}, \quad (1)$$

де $\rho_m = l \operatorname{ctg} \varphi_p$ – максимальне значення радіуса кривошипа в кінці його повороту на кут φ_p (положення механізму OA_2B_2). З другого боку, ця максимальна швидкість дорівнює максимальній швидкості повзуна в кінці розбігу і на початку вибігу:

$$V_{max} = B_1 \frac{S_p}{T_p} = B_2 \frac{S_a}{T_a}, \quad (2)$$

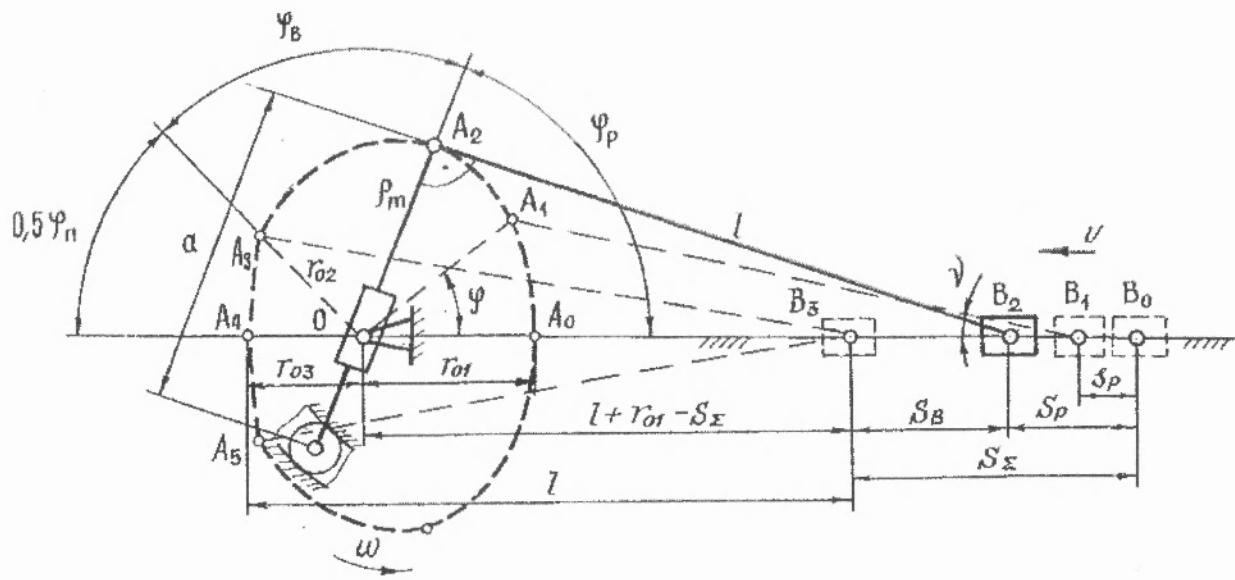


Рис. 1. Кінематична схема механізму

де B_1 і B_2 – константи піків швидкостей [2]; S_1 і S_2 – переміщення; T_1 і T_2 – періоди розбігу та вибігу повзуна. З (1) і (2) випливає, що закон руху повзуна є асиметричним і неоднорідним (або однорідним).

Приврівнюючи почленно (1) і (2), отримуємо

$$V_{\max} = \frac{\omega \rho_m}{\sin \varphi_p} = \frac{\omega l}{\sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p} = B_1 \frac{S_p}{T_p},$$

де $\omega = \frac{\varphi_p}{T_p}$. Звідси визначається переміщення повзуна в період розбігу

$$S_p = \frac{\varphi_p l}{B \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p}. \quad (3)$$

Водночас $V_{\max} = \frac{\omega l}{B_1 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p} = B_2 \frac{S_6}{T_6} \omega$, звідки переміщення

повзуна в період вибігу $S_6 = \frac{\varphi_6 l}{B_2 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p}$ або

$$S_6 = \frac{(\varphi_\Sigma - \varphi_p) l}{B_2 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p}, \quad (4)$$

бо $\varphi_6 = \varphi_\Sigma - \varphi_p$. При цьому переміщення повзуна

$$S = \frac{\varphi_p l}{B_1 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p} + \frac{\varphi_\Sigma l}{B_2 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p} - \frac{\varphi_p l}{B_2 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p}. \quad (5)$$

Після перетворень виразу (5) одержимо

$$\varphi_p \left(\frac{B_2}{B_1} - 1 \right) = \frac{S}{l} B_2 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p - \varphi_\Sigma. \quad (6)$$

З (6) випливає: якщо взяти однорідний закон періодичного руху повзуна, тобто $B_1 = B_2$, то $\frac{S}{l} B_2 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p - \varphi_\Sigma = 0$ і

$$\varphi_p = \arcsin \frac{\varphi_\Sigma l}{B_2 \operatorname{Stg} \varphi_p}. \quad (7)$$

Якщо візьмемо неоднорідний закон періодичного руху повзуна $B_1 \neq B_2$, то розв'язок матиме вигляд

$$\varphi_p = \frac{\frac{S}{l} B_2 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p - \varphi_\Sigma}{\frac{B_2}{B_1} - 1}. \quad (8)$$

Рівняння (7) і (8) можна розв'язати відносно φ_p ітераційним методом за допомогою ПЕОМ. При $B_1 < B_2$ на рівняння (8)

накладається умова $\varphi_\Sigma > \frac{S}{l} B_2 \sin \varphi_p \operatorname{tg} \varphi_p$. Якщо ця умова не виконується, потрібно змінити вихідні дані.

З рис. 1 бачимо, що у центральному механізмі початковий радіус кривошипа визначається з рівняння проєкцій відповідних ланок механізму на горизонтальну вісь при $\varphi = \varphi_p$:

$$r_{01} = S'_p + \rho_m \cos \varphi_p + l \sin \varphi_p - l. \quad (10)$$

Поточні значення переміщення повзуна

$$s_p = r_{01} + l - \rho \cos \varphi - l \cos \nu, \quad (11)$$

де ρ – поточні значення радіуса кривошипа; φ – поточний кут повороту кривошипа; ν – кут нахилу шатуна до напрямку руху повзуна. Оскільки

$$\frac{\rho}{\sin \nu} = \frac{l}{\sin \varphi}, \quad \text{то } \sin \nu = \frac{\rho}{l} \sin \varphi, \quad \text{а}$$

$$\cos \nu = \sqrt{1 - \sin^2 \nu} = \sqrt{1 - \frac{\rho^2}{l^2} \sin^2 \varphi}, \quad (12)$$

$$s_p = r_{01} + l - \rho \cos \varphi - l \sqrt{1 - \frac{\rho^2}{l^2} \sin^2 \varphi}. \quad (13)$$

Виконаємо деякі перетворення і знайдемо значення ρ :

$$l \sqrt{1 - \frac{\rho^2}{l^2} \sin^2 \varphi} = (r_{01} - s_p + l) - \rho \cos \varphi,$$

$$l^2 \left(1 - \frac{\rho^2}{l^2} \sin^2 \varphi \right) = (r_{01} - s_p + l)^2 - 2\rho(r_{01} - s_p + l) \cos \varphi - \rho^2 \cos^2 \varphi$$

і

$$\rho = (r_{01} - s_p + l) \cos \varphi - \sqrt{(r_{01} - s_p + l)^2 \cos^2 \varphi + l^2 - (r_{01} - s_p + l)^2}, \quad (14)$$

де $s_p = a_k [S_p]$, a_k - інваріанти переміщень повзуна в період розбігу.

У період вибігу маємо

$$S_p + s_e = (r_{01} + l) - l \cos \nu - \rho \cos(\varphi_p + \varphi), \quad (15)$$

де s_e - поточні переміщення повзуна; φ - поточні кути повороту кривошипа, відлік яких ведуть від φ_p .

Використавши залежності (12), з (15) отримаємо

$$S_p + s_e = (r_{01} + l) - \rho \cos(\varphi_p + \varphi) - l \sqrt{1 - \frac{\rho^2}{l^2} \sin^2(\varphi_p + \varphi)}. \quad (16)$$

Після перетворень (16) дістанемо поточні значення радіуса кривошипа під час вибігу

$$\rho = (r_{01} - S_p - s_e + l) \cos(\varphi_p + \varphi) - \sqrt{(r_{01} - S_p - s_e + l)^2 \cos^2(\varphi_p + \varphi) + l^2 - (r_{01} - S_p - s_e + l)^2}. \quad (17)$$

У (17) значення кута φ змінюється від 0 до φ_e , а $s_p = a_k [S_p]$, де значення a_k беруться в позиціях від $k = 0,5$ до $k = 1,0$.

У період зупинки повзуна поточні значення радіуса кривошипа визначаються з трикутника OA_3B_3 :

$$l^2 = \rho^2 + (r_{01} + l - S)^2 - 2\rho(r_{01} + l - S) \cos(\varphi_\Sigma + \varphi), \quad (18)$$

де $S = S_p + s_e$; $\varphi_\Sigma = \varphi_e + \varphi_p$; φ - кут, відлік якого ведуть від φ_Σ .

Перетворивши (18), знайдемо поточні значення радіуса кривошипа в період вистоювання повзуна:

$$\rho = (r_{01} + l - S) \cos(\varphi_\Sigma + \varphi) + \sqrt{(r_{01} + l - S)^2 \cos^2(\varphi_\Sigma + \varphi) + l^2 - (r_{01} + l - S)^2}. \quad (19)$$

Точки A_2 та A_3 профілю кулачка (див. рис. 1) визначають плавний перехід від розбігу до вибігу і від вибігу до паузи.

Плавність з'єднання кривих ділянок профілю визначається тотожністю відповідних похідних у цих точках. Похідні від кривої, що з'єднує кінці радіусів-векторів у моменти кінця розбігу і початку

вибігу, тотожні, бо $B_1 \frac{S_p}{\varphi_p} = B_2 \frac{S_o}{\varphi_o}$. Похідна від кривої в період

вибігу

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = -(r_{01} - S_p - s_o + l) \sin(\varphi_p + \varphi) + \frac{dS_o}{d\varphi} \cos(\varphi_p + \varphi) -$$

$$\frac{2 \cos(\varphi_p + \varphi) \sin(\varphi_p + \varphi) (r_{01} - S_p - s_o + l)^2}{2\sqrt{(r_{01} - S_p - s_o + l)^2 \cos^2(\varphi_p + \varphi) - (r_{01} - S_p - s_o + l)^2 + l^2}}$$

$$2 \cos^2(\varphi_p + \varphi) (r_{01} - S_p - s_o + l) \frac{dS_o}{d\varphi}$$

$$\frac{2\sqrt{(r_{01} - S_p - s_o + l)^2 \cos^2(\varphi_p + \varphi) - (r_{01} - S_p - s_o + l)^2 + l^2}}{(20)}$$

У кінці періоду вибігу (точка A_3) залежність (20) конкретизується, якщо взяти граничні умови

$$\frac{ds_o}{d\varphi} = \frac{ds_o}{dt} \frac{dt}{d\varphi}; \varphi = \varphi_o; \varphi_\Sigma = \varphi_o + \varphi_p; S_p = S_o; S = S_p + S_o,$$

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = (r_{01} - S + l) \sin \varphi_\Sigma - \frac{-2 \cos \varphi_\Sigma \sin \varphi_\Sigma (r_{01} - S + l)^2}{2\sqrt{(r_{01} - S + l)^2 \cos^2 \varphi_\Sigma - (r_{01} - S + l)^2 + l^2}} \quad (21)$$

Похідна від траєкторії точки A у період паузи в русі повзуна

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = -(r_{01} - S + l) \sin(\varphi_\Sigma + \varphi) -$$

$$\frac{-2 \cos(\varphi_\Sigma + \varphi) \sin(\varphi_\Sigma + \varphi) (r_{01} - S + l)^2}{2\sqrt{(r_{01} - S + l)^2 \cos^2(\varphi_\Sigma + \varphi) - (r_{01} - S + l)^2 + l^2}} \quad (22)$$

У точці A_3 залежність (21) конкретизується при $\varphi = 0$.

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = -\frac{(r_{01} - S + l) \sin \varphi_{\Sigma} - 2 \cos \varphi_{\Sigma} \sin \varphi_{\Sigma} (r_{01} - S + l)^2}{2\sqrt{(r_{01} - S + l)^2 \cos^2 \varphi_{\Sigma} - (r_{01} - S + l) + l^2}} \quad (23)$$

З наведеного випливає, що похідні (21) і (23) кривих у точці A_3 тотожні, що свідчить про плавність спряження траєкторій точки A в момент переходу від вибігу до паузи.

У точці A_4 $\frac{d\rho}{d\varphi} = 0$. бо $\sin(\varphi_{\Sigma} + \varphi_n) = 180^\circ$, що також

свідчить про плавність переходу кривої при повороті кривошипа на кут $\varphi > 180^\circ$.

На рис. 2, як приклад, показана крива зміни довжини кривошипа при $S = 100$ мм; $l = 400$ мм; $S_a = 50$ мм; $\varphi = 80^\circ$; $\varphi_a = 80^\circ$; $B_1 = B_2 = 2$; $r_{01} = 56,17$ мм; $r_{02} = 46,5$ мм; $r_{03} = 43,83$ мм; $\rho_m = 70,53$ мм.

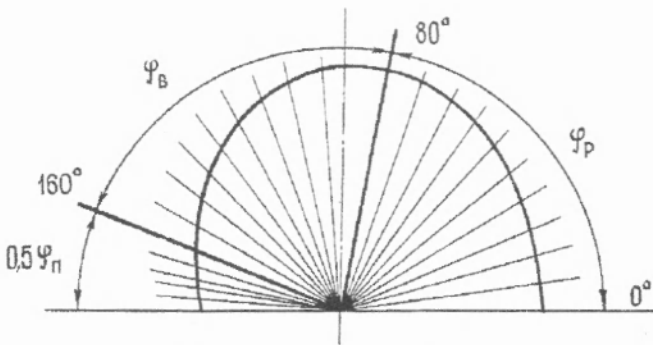


Рис. 2. Еквідистантний профіль кулачка

Поточні переміщення штовхача відносно нерухомого кулачка $s = r_{01} \cdot \rho$ швидкість

$$V = \frac{ds}{dt} = \frac{d\rho}{dt} = -\frac{d\rho}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{d\rho}{d\varphi} \omega,$$

прискорення

$$W = \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d^2 \rho}{d\varphi^2} \omega^2,$$

де $\frac{d\rho}{d\varphi}$ і $\frac{d^2 \rho}{d\varphi^2}$ – інваріанти швидкості та прискорення. Константи

можна визначити аналітичним або графоаналітичним способами.

Подальший розрахунок геометричних параметрів кулачкового механізму виконують за методикою, викладеною в [1] і [2].

1. Полюдов О.М. Механіка поліграфічних автоматів. К., 1991. 2. Тир К.В. Механика полиграфических автоматов. М., 1964.

Стаття надійшла до редколегії 30.01.98