

В.Р. Пасіка

СИНТЕЗ КОМБІНОВАНИХ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ПОВЗУНА

Кривошипно-повзунні механізми (КПМ) отримали широке застосування у різних галузях промисловості. Якщо це механізми двигунів, то хід повзуна обумовлений конкретними розрахунками, і його змінювання приведе до зміни динамічних характеристик двигуна. Однак у технологічних машинах хід повзуна не завжди повинен мати конкретну величину. Так, наприклад, для механізмів пресів, штампувальних і паперорізальних машин не важливо, на яку віддаль відійде повзун від заготовки чи паперу. Основне, щоби хід повзуна був більший за товщину заготовки для штампувальних машин або товщину паперу для різальних. Відомо, що хід повзуна для КПМ наближено дорівнює подвійній довжині кривошипа. Очевидно, що для штампувальних машин такий хід явно перевищує товщину заготовки. При цьому значна частина потужності двигуна витрачається на переміщення повзуна на стадії неробочого ходу, що не можна вважати раціональним.

Для зменшення ходу повзуна на стадії неробочого ходу пропонується використати комбіновані кривошипно-повзунні механізми зі змінною довжиною кривошипа. Авторіві невідомі праці, в яких пропонуються методи скорочення неробочого ходу повзуна у КПМ.

На рис. 1 зображено принципову схему комбінованого КПМ зі змінною довжиною кривошипа. Кривошип 1, обертаючись, передає рух додатковому повзуну 4, який, у свою чергу, обкочуючись по нерухомому кулачку, спричиняє зміну довжини кривошипа l_{OA} . Такий механізм з точки зору термінології перетворюється у двурухомий механізм з приводною кулісою. Нехай початковим положенням механізму буде крайнє праве положення B_0 , а крайнім лівим – положення B_q .

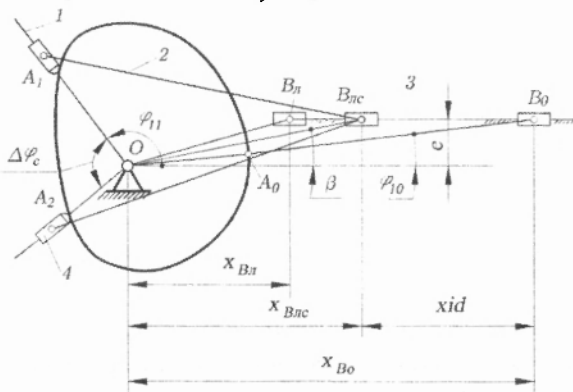


Рис. 1. Комбінований кривошипно-повзунний механізм

Тоді хід класичного КПМ становитиме $H_B = x_{B_0} - x_{B_s}$. Якщо за технологічними умовами хід повзуна B повинен бути $S_{B_{\max}} = xid$, то повзун B , дійшовши в положення B_{ic} , має зупинитися. Залишатиметься він нерухомим у точці B_{ic} у тому випадку, коли кінець шатуна 2 (точка A) рухатиметься по колу радіусом l_{AB} з центром в точці B_{ic} . Таким чином, для того щоб повзун залишався нерухомим у точці B_{ic} , потрібно на ділянці $A_1 - A_2$ змінювати довжину кривошипа за певною залежністю. Зміна довжини кривошипа на усіх інших кутах повороту кривошипа, вважатимемо, не має суттєвого значення. Зауважимо лише, що для збереження заданого ходу повзуна зміна довжини кривошипа на ділянці $A_2 - A_0 - A_1$ повинна забезпечити праве крайнє положення повзуна в точці B_0 .

Виведення основних аналітичних залежностей для визначення змінної довжини кривошипа проведемо у безрозмірному вигляді. Для цього уведемо певні позначення. Нехай $\lambda_r = r/l_1$ – змінна безрозмірна довжина кривошипа, де $r = l_{OA}$ – його змінна довжина, $a l_1$ – початкова. Для одиничного механізму $l_1 = 1$ м. При цьому $\lambda_r = r$. Безрозмірна довжина шатуна $\lambda_2 = l_2/l_1 = l_2$, де $l_2 = l_{AB}$ – довжина шатуна. Безрозмірна величина ексцентриситету $\lambda_3 = e/l_1 \equiv e$, де e – ексцентриситет. Безрозмірна координата синтезованого крайнього лівого положення повзуна $\lambda_4 = x_{B_{ic}}/l_1 \equiv x_{B_{ic}}$. Координату крайнього лівого синтезованого положення повзуна задаватимемо наступним чином. Нехай необхідний синтезований хід повзуна становить деяку частину ходу класичного КПМ $xid = kH_B$, де k – коефіцієнт, $H_B = \sqrt{(1 + \lambda_2)^2 - \lambda_3^2} - \sqrt{(\lambda_2 - 1)^2 - \lambda_3^2}$.

Тоді $\lambda_4 \equiv x_{B_{ic}} = x_{B_0} - xid = (1 - k)\sqrt{(1 + \lambda_2)^2 - \lambda_3^2} + k\sqrt{(\lambda_2 - 1)^2 - \lambda_3^2}$.

З трикутника $\triangle B_{ic} A_1$ визначасмо змінну довжину кривошипа на ділянці $A_1 - A_2$:

$$\lambda_{r12} = \sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_4^2} \cos(\varphi_{r12} - \beta) + \sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_3^2 + \lambda_4^2)} \sin^2(\varphi_{r12} - \beta), \quad (1)$$

де $\varphi_{11} \leq \varphi_{r12} \leq \varphi_{11} + \Delta\varphi_c$, $\beta = \arctan(\lambda_3/\lambda_4)$.

Відомо, що кривина функції виражається через саму функцію і її перші дві похідні. Тому для неперервної зміни кривини профілю кулачка в точках A_1 і A_2 потрібно, щоби криві, які описують зміну радіуса кривошипа на ділянках $A_1 - A_2$ і $A_2 - A_0 - A_1$, збігалися до другої похідної. Для забезпечення правого крайнього положення в точці B_0 необхідно, щоби при куті $\varphi = \varphi_{10}$ довжина кривошипа дорівнювала б початковій, а зміна його довжини – нулевій.

Для ефективного знаходження зміни радіуса кривошипа на ділянці $A_2 - A_0 - A_1$ зобразимо радіуса кривошипа у вигляді полінома VIII степені:

$\lambda_{r201} = \sum_{i=1}^8 a_i \varphi_{r201}^{i-1}$, де $\varphi_{11} + \Delta\varphi_c \leq \varphi_{r201} \leq 2\pi + \varphi_{11}$. Невідомі коефіцієнти a_i обчислюємо із системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} a_1 + a_2\varphi_{11} + a_3\varphi_{11}^2 + a_4\varphi_{11}^3 + a_5\varphi_{11}^4 + a_6\varphi_{11}^5 + a_7\varphi_{11}^6 + a_8\varphi_{11}^7 &= \lambda_{r12}(\varphi_{11}), \\ a_2 + 2a_3\varphi_{11} + 3a_4\varphi_{11}^2 + 4a_5\varphi_{11}^3 + 5a_6\varphi_{11}^4 + 6a_7\varphi_{11}^5 + 7a_8\varphi_{11}^6 &= \lambda'_{r12}(\varphi_{11}), \\ 2a_3 + 6a_4\varphi_{11} + 12a_5\varphi_{11}^2 + 20a_6\varphi_{11}^3 + 30a_7\varphi_{11}^4 + 42a_8\varphi_{11}^5 &= \lambda''_{r12}(\varphi_{11}), \\ a_1 + a_2\varphi_{10} + a_3\varphi_{10}^2 + a_4\varphi_{10}^3 + a_5\varphi_{10}^4 + a_6\varphi_{10}^5 + a_7\varphi_{10}^6 + a_8\varphi_{10}^7 &= 1, \\ a_2 + 2a_3\varphi_{10} + 3a_4\varphi_{10}^2 + 4a_5\varphi_{10}^3 + 5a_6\varphi_{10}^4 + 6a_7\varphi_{10}^5 + 7a_8\varphi_{10}^6 &= 0, \\ a_1 + a_2\varphi_{12} + a_3\varphi_{12}^2 + a_4\varphi_{12}^3 + a_5\varphi_{12}^4 + a_6\varphi_{12}^5 + a_7\varphi_{12}^6 + a_8\varphi_{12}^7 &= \lambda_{r12}(\varphi_{12}), \\ a_2 + 2a_3\varphi_{12} + 3a_4\varphi_{12}^2 + 4a_5\varphi_{12}^3 + 5a_6\varphi_{12}^4 + 6a_7\varphi_{12}^5 + 7a_8\varphi_{12}^6 &= \lambda'_{r12}(\varphi_{12}), \\ 2a_3 + 6a_4\varphi_{12} + 12a_5\varphi_{12}^2 + 20a_6\varphi_{12}^3 + 30a_7\varphi_{12}^4 + 42a_8\varphi_{12}^5 &= \lambda''_{r12}(\varphi_{12}) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де $\varphi_{12} = \varphi_{11} + \Delta\varphi_c$; λ'_{r12} і λ''_{r12} – перша і друга похідні від змінного радіуса кривошипа (1) по куту повороту кривошипа. Аналітичні вирази для цих похідних наступні:

$$\lambda'_{r12} = -\sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_4^2} \sin(\varphi_{r12} - \beta) - \frac{\sin(2(\varphi_{r12} - \beta))(\lambda_3^2 + \lambda_4^2)}{2\sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_3^2 + \lambda_4^2)} \sin^2(\varphi_{r12} - \beta)},$$

$$\lambda''_{r12} = -\sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_4^2} \cos(\varphi_{r12} - \beta) - \frac{(\lambda_3^2 + \lambda_4^2) [4\lambda \cos(2(\varphi_{r12} - \beta)) + (\lambda_3^2 + \lambda_4^2) \sin^2(2(\varphi_{r12} - \beta))]}{4\lambda \sqrt{\lambda}}$$

де $\lambda = \lambda_2^2 - (\lambda_3^2 + \lambda_4^2) \sin^2(\varphi_{r12} - \beta)$.

Таким чином, зміна радіуса кривошипа на ділянці $A_1 - A_2$ описується залежністю (1), а на ділянці $A_2 - A_0 - A_1$ поліномом VIII степені:

$$\lambda_{r201} = a_1 + a_2\varphi_{r201} + a_3\varphi_{r201}^2 + a_4\varphi_{r201}^3 + a_5\varphi_{r201}^4 + a_6\varphi_{r201}^5 + a_7\varphi_{r201}^6 + a_8\varphi_{r201}^7, \quad (3)$$

де коефіцієнти a_i знаходимо із системи рівнянь (2).

Для ефективної роботи запропонованого механізму стає важливим питання визначення кутів тиску синтезованого профілю кулачка, оскільки від їх величини залежить не тільки потужність приводу, але й здатність протистояти заклинюванню кулачкової пари.

Кут тиску визначаємо за відомою залежністю $\text{tg}\nu = r / r'$, де r – радіус вектор кулачка. Підставляючи замість радіуса змінну довжину кривошипа, отримуємо залежності для обчислення кутів тиску на обох ділянках кулачка.

Для ділянки $A_1 - A_2$:

$$\nu_{r12} = \arctan \left(\frac{-\sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_4^2} \sin(\varphi_{r12} - \beta) - \frac{\sin(2(\varphi_{r12} - \beta))(\lambda_3^2 + \lambda_4^2)}{2\sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_3^2 + \lambda_4^2)} \sin^2(\varphi_{r12} - \beta)}}{\sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_4^2} \cos(\varphi_{r12} - \beta) + \sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_3^2 + \lambda_4^2)} \sin^2(\varphi_{r12} - \beta)} \right), \quad (4)$$

а для ділянки $A_2 - A_0 - A_1$:

$$v_{r201} = \arctan \left(\frac{a_2 + 2a_3\varphi_{r201} + 3a_4\varphi_{r201}^2 + 4a_5\varphi_{r201}^3 + 5a_6\varphi_{r201}^4 + 6a_7\varphi_{r201}^5 + 7a_8\varphi_{r201}^6}{a_1 + a_2\varphi_{r201} + a_3\varphi_{r201}^2 + a_4\varphi_{r201}^3 + a_5\varphi_{r201}^4 + a_6\varphi_{r201}^5 + a_7\varphi_{r201}^6 + a_8\varphi_{r201}^7} \right). \quad (5)$$

На рис.2 – 4 наведено залежності максимального кута тиску від довжини шатуна λ_2 при різних значеннях ексцентриситету λ_3 для трьох кутів φ_{11} . Графіки побудовано для таких кутів φ_{11} , при яких ділянка $A_1 - A_2$, симетрична відносно осі абсцис ($\varphi_{11} = 140^\circ$), зміщена вверх ($\varphi_{11} = 120^\circ$) або вниз ($\varphi_{11} = 160^\circ$). При цьому коефіцієнт ходу повзуна $k = 0,8$.

Аналіз графіків показує, що найсуттєвіший вплив на максимальний кут тиску має довжина шатуна. При збільшенні її зростає і кут тиску. Вплив ексцентриситету на кут тиску різний. Так, при зміщенні ділянки вверх кут тиску зростає при збільшенні ексцентриситету, а при зміщенні вниз – зменшується. Оскільки величина кута тиску відіграє основну роль на стадії робочого ходу, то про цю властивість комбінованих КПМ доцільно пам'ятати при проектуванні робочої частини ділянки $A_3 - A_0 - A_1$. Так, наприклад, якщо робочий хід відбувається при переміщенні повзуна від положення B_0 до положення B_{ac} , то кути тиску на робочій ділянці будуть меншими при зміщенні ділянки $A_1 - A_2$ вниз і при додатному ексцентриситеті. Якщо ж робочий хід відбувається у протилежному напрямку, то кути тиску будуть меншими при зміщенні ділянки $A_1 - A_2$ вверх і при від'ємному ексцентриситеті. За рекомендаціями [див.: Полюдов А.Н. Механика полиграфических автоматов. – К.: УМК ВО, 1991. – 164 с.], допустимий кут тиску для наведеного кулачка при найнесприятливіших умовах становить не більше, як $[\nu] = 35,86^\circ$. Для несиметрично розміщеної ділянки $A_1 - A_2$ для такого допустимого кута тиску довжина шатуна не перевищує $\lambda_2 < 2,2$ при ексцентриситеті $\lambda_3 = \pm 0,3$. Для симетрично розміщеної ділянки довжина шатуна зростає приблизно до $\lambda_2 \cong 2,8$.

На рис. 5 наведено графік інваріанту ходу повзуна від довжини шатуна λ_2 при різних значеннях ексцентриситету λ_3 для симетрично розміщеної ділянки $A_1 - A_2$. Як бачимо, для центрального КПМ хід повзуна не залежить від довжини шатуна. Однак при наявності ексцентриситету хід його змінюється. Так, при збільшенні за модулем ексцентриситету і зменшенні довжини шатуна хід зростає, і навпаки. До речі, при несиметрично розміщеній ділянці $A_1 - A_2$ графік на рис. 4 не змінюється.

На рис. 6 зображено траєкторію точки A , побудовану за залежностями (1) і (3) при таких параметрах механізму: $\lambda_2 = 1,5$; $\lambda_3 = 0$ м; $\varphi_{11} = 140^\circ$;

ПОЛІГРАФІЧНІ МАШИНИ

$\Delta\varphi_c = 80^\circ$; $k = 0,8$. Кінематичні інваріанти повзуна для поданої траєкторії точки A зображено на рис. 7. Переміщення повзуна обчислюємо за виразом

$$x_B = \lambda_r \cos \varphi_1 + \lambda_2 \cos \varphi_2, \quad (6)$$

де $\lambda_r = \lambda_{r12}$ для кутів $\varphi_1 = \varphi_{r12}$ і $\lambda_r = \lambda_{r201}$ для інших кутів повороту кривошипа; $\sin \varphi_2 = \frac{e - \lambda_r \sin \varphi_1}{\lambda_2}$ – гострий кут нахилу шатуна до осі абсцис.

Інваріант швидкості і пришвидшення отримуємо чисельним диференціюванням переміщення (6).

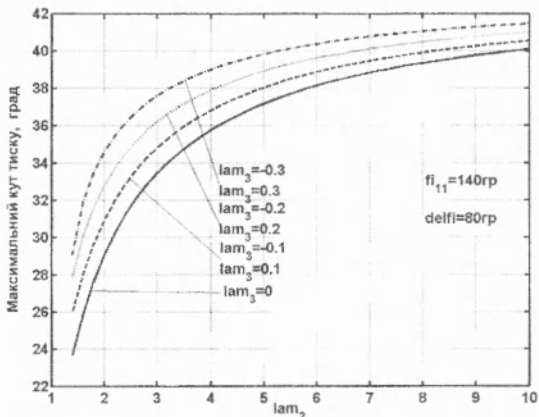


Рис.2 Максимальний кут тиску при симетричній ділянці $A_1 - A_2$

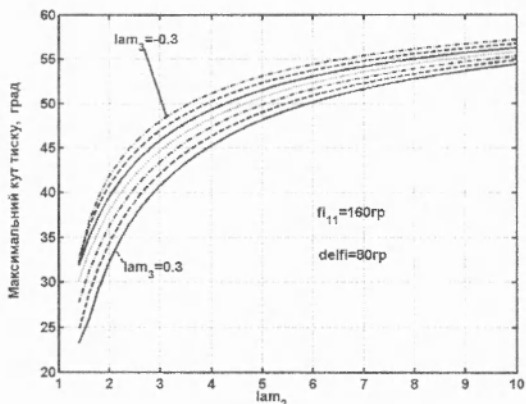


Рис. 3. Максимальний кут тиску при зміщенні ділянки $A_1 - A_2$ униз

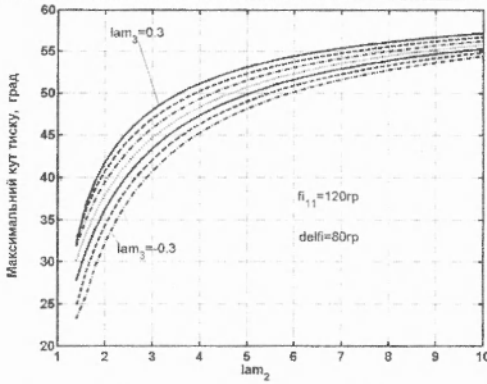


Рис. 4. Максимальний кут тиску при зміщенні ділянки $A_1 - A_2$ уверх

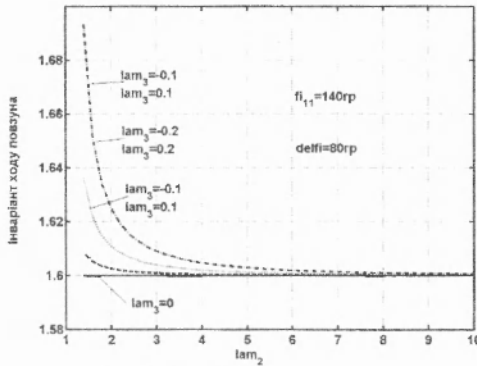


Рис. 5. Інваріант ходу повзуна

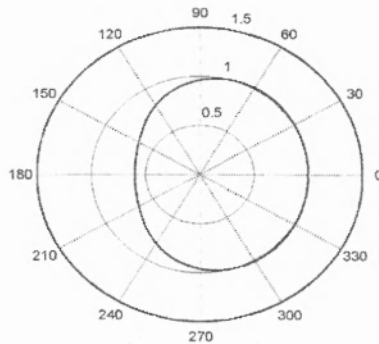


Рис. 6. Траскторія точки A для симетрично розміщеної ділянки $A_1 - A_2$



Рис. 7. Кінематичні характеристики повзуна

Таким чином, проведеними дослідженнями синтезовано комбінований КІПМ зі змінною довжиною кривошипа для отримання зупинки повзуна на заданих кутах повороту кривошипа; показано, що для реальних механізмів довжина шатуна не повинна перевищувати початкову довжину кривошипа більше ніж у 2,8 рази; виявлено, що максимальний кут тиску на робочому ході залежить від розміщення ділянки $A_1 - A_2$ (кут φ_{11}) та знаку ексцентриситету й за допомогою ексцентриситету можна впливати на величину синтезованого ходу повзуна.