

УДК:687.053.7

## КІНЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КУЛАЧКОВИХ ПРОГРАМОНОСІЇВ ШВЕЙНИХ МАШИН-НАПІВАВТОМАТІВ

В.О.ПИЩИКОВ, Б.В.ОРЛОВСЬКИЙ

Київський національний університет технологій та дизайну

*Розроблено методику кінематичного дослідження кулачкових багатокрокових і кроково-ступенчатих програмоносіїв швейних машин-напівавтоматів. Удосконалено алгоритм структурного і метричного синтезу, визначено кінематичні характеристики типової фази-кроку багатокрокових програмоносіїв*

У роботі [2] автори цієї статті зазначили що в літературі, яка присвячена проектуванню швейних машин кулачкові програмоносії («копіри») циклових швейних машин-напівавтоматів по суті справи не розглядаються. Намагання деяких авторів подати методику їх проектування з використанням відомих «загально-інженерних» методів є вкрай помилковими. В наведеній роботі автори запровадили новий терміни: «багатокрокові» та «кроково-ступенчаті» кулачки, щоб відокремити ці особливі кулачки-програмоносії від звичайних – однокрокових.

### **Об'єкти та методи дослідження**

У технічній літературі, зокрема, присвяченій будові та проектуванню швейних машин-напівавтоматів, відсутні будь-які дослідження крокових кулачків-програмоносіїв, відсутні дані про їх кінематичні характеристики. Але є обґрунтування авторів у роботах [2, 3] про те що в основу проектування крокових кулачків покладена зовсім інша ніж за звичай концепція проектування та використовують особливий, унікальний спосіб та алгоритм їх структурного і метричного синтезу.

У роботах [1–3] розглянуто функціональну та структурну сутність кулачкових програмоносіїв швейних машин-напівавтоматів. Вирішено питання вибору вихідних даних, необхідних для побудови профілю кулачків розроблено алгоритм структурного і метричного синтезу крокових та кроково-ступенчатих кулачкових програмоносіїв. Одержані у вказаних роботах дані забезпечують можливість проведення подальших досліджень для визначення кінематичних характеристик крокових кулачків-програмоносіїв.

### **Постановка завдання**

Розглянемо фазу-крок (рис.1,а) кулачкового багатокрокового програмоносія що містить 42 фазових кута

(42 стібка)  $\varphi_{\phi} = \frac{360^{\circ}}{42} = 8^{\circ}34'$ . Фаза руху першого, визначального кроку дорівнює

$\varphi_p = \varphi_{p1} + \varphi_{p2} = 6^{\circ}17'$ . Прирошення величини радіусу основного кола  $R \approx 71$  мм становить

$\delta = R_2 - R_1 = 3$  мм. Параметри що обумовлені *триадою*  $d = 2r = \rho = 12$  мм ( $d$  – діаметр ролика

коромислового штовхача;  $r$  – радіус дуг окружностей центрального профілю;  $\rho$  – радіус дуг окружностей еквідистант, що окреслюють робочий профіль кожної окремої фази руху програмоносія). дорівнюють:

$$OA = R_1 + r = 71 + 6 = 77 \text{ мм}; \quad OB = R_1 + \delta - r = 71 + 3 - 6 = 68 \text{ мм}; \quad AB = d = 12 \text{ мм}.$$

Точка  $C$  спряження дуг центрального профілю характеризується радіусом-вектором  $OC \approx 72,4$  мм.

Переміщення ролика при русі увігнутої  $aC$  частині центрального профілю дорівнюється  $\delta_1 \approx 1,4$  мм.

при русі опуклої  $Cb$  частині центрального профілю дорівнюється  $\delta_2 \approx 1,6$  мм. Центральний кут  $AOC \approx \varphi_{p1} \approx 2^{\circ}57'$ , центральний кут  $BOC \approx \varphi_{p2} \approx 3^{\circ}20'$ . Кут тиску  $\Theta = 41^{\circ}17'$ .

**Результати та їх обговорення**

Кожну фазу-крок багатокрокового або кроково-ступенчатого програмоносія можна розглядати, як окремий механізм (рис.1,б,в) із вищою (IV класу) кінематичною парою, яку утворює ролик діаметром  $d$  коромислового штовхача  $O_1C$  з пазом. Оскільки центровий профіль паза окреслено двома однаковими дугами радіуса  $r$  окружності з центрів  $A$  та  $B$ , то такий кулачковий механізм, при дослідженні, можна замінити двома еквівалентними важільними механізмами [4].

Кожної з двох частин центрального профілю (рис.1,а) увігнутої  $aC$ , та опуклої  $Cb$ , що окреслені дугами окружності  $r = 6$  мм з точок  $A$  та  $B$ , відповідає свій еквівалентний замінюючий механізм. Для частини профілю  $aC$  еквівалентним замінюючим механізмом є центральний коромисловий чотириланковик  $OACO_1$  (рис.1,б) з параметрами:

$$OA = r_1 = 77 \text{ мм}; AC = l = 6 \text{ мм}; CO_1 = 60...70 \text{ мм}, \varphi_{p1} = 2^{\circ}57'.$$

Для частини  $Cb$  центрального профілю (рис.1,а) еквівалентним замінюючим механізмом є центральний коромисловий чотириланковик  $OBCO_1$  (рис.1,в) з параметрами:

$$OB = r_2 = 68 \text{ мм}; BC = l = 6 \text{ мм}; CO_1 = 60...70 \text{ мм}, \varphi_{p2} = 3^{\circ}20'.$$

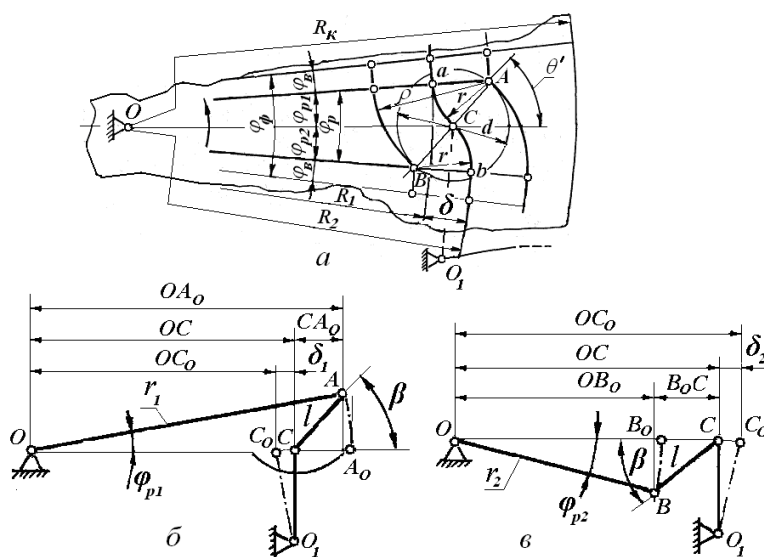


Рис.1. Схема (а) типового фазового кута-кроку програмоносія та еквівалентні заміняючі механізми:

- б – механізм що забезпечує рух еквівалентний руху ролика при дії увігнутої частини профілю паза;
- в – механізм що забезпечує рух еквівалентний руху ролика при дії опуклої частини профілю паза

Оскільки за алгоритмом розрахунків передбачається вибір величини переміщення  $\delta$ , що є хордою дуги, яку окреслює центр ролика [2] тј функцію положення  $\delta = f(\varphi_p)$  доцільно виражати саме

хордою, маючи на увазі, що при звичайних значеннях довжини коромислового штоухача  $CO_1 = 60...70$  мм та хордах  $\delta = 2...3$  мм довжина відповідних дуг, при розрахунках навіть при використанні  $\pi = 3,14159$ , виявляється меншою або однаковою з довжиною їх хорд. Тому одержані, замінюючи механізм доцільно вважати центральними коромислово-повзунними механізмами.

В структурному сенсі замінюючий механізм на рис.1б є аналогом центрального коромислово-повзунного механізму з шатуном довжиною  $l = 6$  мм що спрямован до центра  $O$  обертання коромисла  $r_1 = 77$  мм. Цій механізм є еквівалентним кулачковому в межах повороту коромисла на кут  $0^0 \leq \varphi \leq \varphi_{p1} = 2^0 57'$ .

Замінюючий механізм на рис.1в є аналогом центрального коромислово-повзунного механізму з шатуном довжиною  $l = 6$  мм що спрямован від центра  $O$  обертання коромисла  $r_2 = 68$  мм. Цій механізм є еквівалентним кулачковому в межах повороту коромисла на кут  $0^0 \leq \varphi \leq \varphi_{p2} = 3^0 20'$ . Кут повороту кулачка для одної фази кроку складає  $\varphi = \varphi_{p1} + \varphi_{p2} = 6^0 17'$ .

Функцію положення  $\delta_1 = f(\varphi_{p1})$  механізму на рис. 1б визначаємо з геометричних співвідношень:

$$\delta_1 = OC - OC_0$$

де  $OC = OA_0 - CA_0 = r_1 \cos \varphi_{p1} - l \cos \beta$ ;  $OC_0 = r_1 - l$  звідки

$$\delta_1 = l(-\cos \beta_1) - r_1(-\cos \varphi_{p1}) \quad (4)$$

Використовуючи заміну  $\lambda_1 = r_1 / l$ , отримаємо:

$$\delta_1 = r_1 \left[ \frac{1}{\lambda_1} (-\cos \beta_1) - (-\cos \varphi_{p1}) \right] \quad (5)$$

Залежності (4) і (5) визначають переміщення веденої ланки (повзуна) з крайнього лівого положення, а відлік кута  $\varphi_{p1}$  починається з  $\varphi_{p1} = 0^0$ , коли  $OC_0 = r - l = 77 - 6 = 71$  мм.

Диференціюючи функцію положення (5) одержують формули для визначення швидкості  $V_1$  та прискорення  $a_1$ :

$$V_1 = -r_1 \omega (\cos \varphi_{p1} \cdot \text{tg} \beta_1 - \sin \varphi_{p1}) \quad (6)$$

$$a_1 = -r_1 \omega^2 \left( \sin \varphi_{p1} \text{tg} \beta_1 + \lambda \frac{\cos^2 \varphi_{p1}}{\cos^3 \beta_1} + \cos \varphi_{p1} \right) \quad (7)$$

У формулах (4), (5), (6),(7) кут  $\beta_1 = \arcsin \left( \lambda_1 \sin \varphi_{p1} \right)$ , де  $\lambda_1 = \frac{77}{6} = 12,83$ .

З рис. 1в визначаємо функцію положення замінюючого механізму при обертанні коромисла  $r_2 = 68$  мм в межах кута  $0^0 \leq \varphi_{p2} \leq 3^0 20'$ .

З геометричних співвідношень  $\delta_2 = OC_0 - OC$ , де  $OC_0 = r_2 + l$  і  $OC = OB_0 + B_0C = r_2 \cos \varphi_{p2} + l \cos \beta_2$  отримуємо:

$$\delta_2 = l \left( -\cos \beta_2 \right) + r_2 \left( -\cos \varphi_2 \right) \quad (8)$$

Використовуючи співвідношення  $l = r_2 / \lambda_2$ :

$$\delta_2 = r_2 \left[ \frac{1}{\lambda_2} \left( -\cos \beta_2 \right) + \left( -\cos \varphi_{p2} \right) \right] \quad (9)$$

Залежності (8) і (9) визначають переміщення  $\varphi_{p2i}$  веденої ланки (повзуна) з крайнього правого положення ( $OC_0 = r+l$ ) що відповідає  $\varphi_{p2} = 0^0$  до положення  $OC = r_2 \cos \varphi_2 + l \cos \beta_{2i}$  що має найменше значення при  $\varphi_{p2} = 3^0 20'$  і забезпечує переміщення  $\delta_2 \approx 1,6$  мм.

Диференціюючи функцію положення (9) одержують формули для визначення швидкості та прискорення:

$$V_2 = -r_2 \omega \left( \cos \varphi_{p2} \cdot \text{tg} \beta_2 + \sin \varphi_{p2} \right) \quad (10)$$

$$a_2 = -r_2 \omega^2 \left( \sin \varphi_{p2} \text{tg} \beta_2 + \lambda \frac{\cos^2 \varphi_{p2}}{\cos^3 \beta_2} + \cos \varphi_{p2} \right) \quad (11)$$

У формулах (8), (9), (10),(11) кут  $\beta_2 = \arcsin \left( \lambda_2 \sin \varphi_{p2} \right)$ , де  $\lambda_2 = 68/6 \approx 11,33$ .

За формулами (5)...(7) одержані значення переміщення, швидкості, прискорення веденої ланки механізму (рис.1,б) при повороті ведучої ланки на кут  $\varphi_{p1} = 0^0 00', 0^0 30', 1^0 00' \dots 2^0 57'$  (табл.1 і рис.2). А за формулами (9)...(11) значення кінематичних параметрів для механізму на рис.1в при повороті ведучої ланки на кут  $\varphi_{p2} = 0^0 00', 0^0 30', 1^0 00' \dots 3^0 20'$  наведені у табл.2 і на рис.2. При розрахунках прийнято: частота обертання головного валу  $n = 1200$  об/хв передаткове відношенням між головним валом і програмоносцем  $i = 42$ . По одержаним даним побудована кінематична діаграма типової фази-кроку кулачкового програмоносця швейної машини (рис.2).

Таблиця 1. Характеристики руху ролика на увігнутої частини аС профілю аСb програмоносця

$\varphi_{p1}$	$\delta_1, \text{мм}$	$V, \text{м/сек}$	$a, \text{м/сек}$	Позиц. на рис.2
$0^0 00'$	0,00	0,000	8,2	0.
$0^0 30'$	0,03	0,024	8,3	1.
$1^0 00'$	0,14	0,049	8,9	2.
$1^0 30'$	0,34	0,078	9,9	3.
$2^0 00'$	0,59	0,107	11,7	4.
$2^0 30'$	0,95	0,145	15,2	5.
$2^0 57'$	1,40	0,190	20,2	6.

Таблиця 2. Характеристики руху ролика на опуклої частини *Cb* профілю *aCb* програмоносія

$\varphi_{p2}$	$-\delta$	$+\delta$	$V, \text{ м/сек}$	$a, \text{ м/сек}^2$	Позиц. на рис.2
$3^{\circ}20'$	1,60	0,00	0,190	16,77	6. $\leftarrow 3'$
$2^{\circ}47'$	1,07	0,33	0,145	12,44	7.
$2^{\circ}17'$	0,70	0,90	0,110	10,43	8.
$1^{\circ}47'$	0,43	1,17	0,083	9,01	9.
$1^{\circ}17'$	0,26	1,34	0,059	8,20	10.
$0^{\circ}47'$	0,08	1,52	0,034	7,74	11.
$0^{\circ}17'$	0,01	1,59	0,012	7,53	12.
$0^{\circ}00'$	0,00	1,60	0,000	7,48	13.

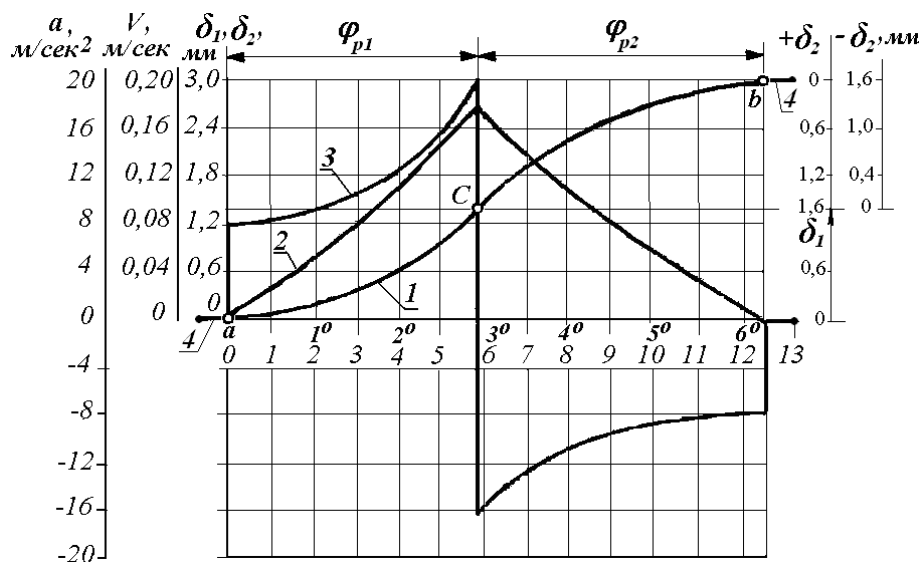


Рис. 2. Кінематичні характеристики руху штовхача кулачкового програмо носія:

1 – переміщення; 2 – швидкість; 3 – прискорення; 4 – зупинка

Проведені дослідження дають можливість вирішити першочергове питання проектування кулачкових програмоносіїв, що до визначення доцільного співвідношення фази руху  $\varphi_p$  та фази вистою  $\varphi_v$ , при відомому, значенні фазового кута  $\varphi_\phi$ . Відомо, що у швейних машинах кут повороту головного валу у період руху вістря голки «над матеріалом» та кут його повороту при русі голки «в матеріалі» приблизно однакові [1] [2]. З цього випливає формально необхідне співвідношення фази руху та фази вистою -  $\varphi_p \approx \varphi_v$ . Функції положення (5) і (9), таблиці 1 і 2, та діаграма (рис.2) свідчать, що на початку і

в кінці фази руху, при повороті ведучих ланок  $r_1$  та  $r_2$  на кут  $\Delta\varphi \approx 1^\circ$  відбувається порівняно мале переміщення  $\Delta\delta \approx 0,13...0,14$  мм ведучої ланки.

Ураховуючи передаткові відношення відповідних механізмів  $i = 1...0,4$  це відповідає переміщенню матеріалу (або голки) на величину  $\Delta t \approx 0,14...0,35$  мм. Такі переміщення у період вистою вважаються допустимими, тому ці дві частини фази руху  $\Delta\varphi \approx 2^\circ$  умовно відносять до фази вистою, збільшуючи, відповідно, розрахункову величину фази руху до величини:

$$\varphi_p \approx 0,5 \varphi_{\text{в}} + 2 \Delta\varphi \approx 4^\circ 17' + 2^\circ \approx 6^\circ 17'$$

Цей прийом дозволяє суттєво поліпшити конструктивні та динамічні характеристики копіру та механізмів, в яких він служить ведучою ланкою. У разі не використання цього прийому - застосуванні формально-необхідної величини  $\varphi_p$ , наприклад,  $\varphi_p \approx 4^\circ 17'$  параметри  $R_1$  і  $R_x$  суттєво збільшуються і досягнуть, відповідно, значень:  $R_1 = 104$  мм;  $R_x = 120$  мм. Швидкість  $V_{\text{max}}$ , згідно з формулою (6) збільшиться до **0,26 м/сек.**, прискорення згідно з (7) стає вдвічі більшим ( $a \approx 40$  м/сек<sup>2</sup>).

Вочевидь прийом, що передбачає збільшення розрахункової величини фази руху до значень, що становить 65–70% від величини фазового кута – або в **2,5 ... 2,7** рази більшими за фазу вистою, є ще однією з особливостей способу проектування багатокрокових кулачків-програмоносіїв швейних машин.

### Висновки

На підставі аналізу одержаних результатів (табл. 1 і 2) та кінематичної діаграми можна скласти об'єктивне уявлення про кінематичні й динамічні характеристики багатокрокових кулачкових програмоносіїв. Діаграма переміщення, що складається з  $\delta_1 = f(\varphi_{p1})$ ,  $\delta_2 = f(\varphi_p)$ , на початку і в кінці руху плавно сполучена з дугами окружностей  $R_1$ ,  $R_2$  (див. рис. 1а), що забезпечує нульові значення переміщення і швидкості, але в точці  $C$  перегину графіка переміщення, що збігається з точкою спряження дуг центрального профілю, на діаграмі  $V(\varphi)$  утворюються характерне загострення, що відображує миттєву зміну величини та напрямку швидкості. Відповідно, діаграма прискорення  $a(\varphi)$  характеризується розривами (стрибками) у точках спряження різних по характеру або величині дуг окружностей, що утворюють центровий профіль. Таким чином, динамічна характеристика розглянутого кулачкового програмоносія не є бездоганною, але зважаючи на реальні порівняно малі значення швидкості та стрибків прискорення ( $V_{\text{max}} \approx 0,19$  м/сек,  $a_{\text{max}} \approx 20$  м/сек<sup>2</sup>), що є незначними і забезпечують достатній рівень надійності і працездатності крокових кулачкових програмоносіїв при використанні їх в швейних машинах-напівавтоматах. Зауважимо що більшість виконавчих механізмів швейних машин працюють в умовах значно більших швидкостей та прискорень. Так механізм голки тієї ж машини 220кл ОЗШМ виконує свої функції при  $V_{\text{max}} \approx 4$  м/с і  $a_{\text{max}} \approx 645$  м/сек<sup>2</sup>, що в двадцять та в тридцять разів більші ніж значення  $V$  та  $a$ , що характеризують механізм з кроковим програмоносієм.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Пищиков В.О., Орловський Б.В., Проектування швейних машин: Навчальний посібник для ВНЗ.– К.: – Формат.–2007.–320 с.
2. Пищиков В.О., Орловський Б.В. Синтез багатокрокових кулачкових програмоносіїв швейних машин- напівавтоматів. –2010, –Вісник КНУТД, –№5 (том 2). –с.107 –114 .

3. Пищиков В.О., Орловський Б.В. Особливості проектування багатокрокових кулачкових програмоносіїв швейних машин-напіавтоматів., –2011, – Вісник КНУТД. –№3. –с. 16–21.
4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.:Наука, –1975. –640 с.