

УДК 685.31

**МЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ З  
ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИКЛАДНИХ CAD ПРОГРАМ****Шевченко М. В., Лагода Е. В., Потопник Д. Р., Скрипак В. М.,  
Єременко Г. Ю., Поповіченко С. А.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** *Проектування типового кривошипно-повзунного механізму із застосуванням прикладних CAD програм.*

**Методика.** *Використані методи метричного синтезу та кінематичного аналізу типових механізмів машин легкої промисловості.*

**Результати.** *Розроблений кривошипно-повзунний механізм, отримані математичні моделі для метричного (геометричного) синтезу типових механізмів легкої промисловості з використанням CAD програм.*

**Наукова новизна.** *Запропоновано підхід, що спрощує розробку та дослідження типових механізмів машин легкої промисловості за рахунок використання прикладних CAD програм.*

**Практична значимість** *полягає у використанні отриманих результатів при проектуванні та кінематичному синтезі типових механізмів машин легкої промисловості.*

**Ключові слова:** *машина легкої промисловості, механізм, метричний синтез, кінематичне дослідження*

Устаткування легкої промисловості вдосконалюється відповідно до змін в технологічних процесах, використання нових матеріалів, тенденцій розвитку у суміжних галузях машинобудування.

Підвищення технічного рівня обладнання, скорочення строків проектування, вимагає від інженера використання сучасних методів проектування та дослідження типових механізмів.

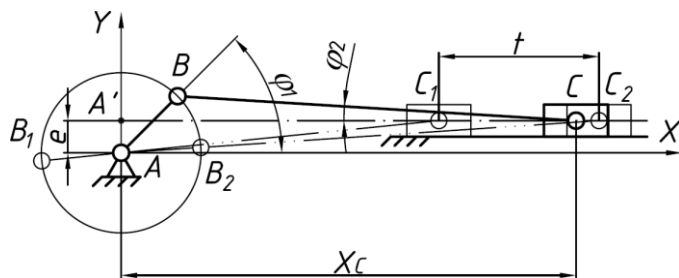
Перспективним є використання сучасних прикладних CAD програм, за рахунок чого досягається спрощення метричного синтезу та кінематичного аналізу механізмів, скорочується час, що витрачається на проектування, а також підвищується точність отриманих результатів.

**Постановка завдання**

Завданням роботи є метричний синтез дезаксіального кривошипно-повзунного механізму за величиною ходу повзуна ( $t$ ) при обмеженнях на значення коефіцієнту співвідношення довжин кривошипа і шатуна ( $\lambda$ ) та допустимого кута тиску в кінематичній парі шатун-повзун ( $[\Theta]$ ) [1-3].

**Результати досліджень**

У результаті метричного синтезу необхідно отримати значення довжин ланок кривошипа та шатуна. Зобразимо механізм у двох крайніх положеннях (рис. 1). В першому крайньому положенні кривошип та шатун утворюють відрізок  $AC_1$ , в іншому – відрізок  $AC_2$ . Довжина відрізка  $AC_1$  рівна різниці довжин шатуна  $l$  та кривошипа  $r$ , а довжина відрізка  $AC_2$  – сумі довжин шатуна  $l$  та кривошипа  $r$ , тобто



$$AC_1 = l - r; \quad AC_2 = l + r. \quad (1)$$

Через коефіцієнт співвідношення довжин кривошипа та шатуна  $\lambda$  та радіус кривошипа  $r$  виразимо довжину шатуна  $l$  [3]

$$\lambda = \frac{r}{l}, \text{ звідки } l = \frac{r}{\lambda}. \quad (2)$$

Підставимо значення  $l$  у вирази (1), отримаємо:

$$AC_1 = \frac{r}{\lambda} - r; \quad AC_2 = \frac{r}{\lambda} + r.$$

Визначимо питомі проекції відрізків  $AC_1$  і  $AC_2$  на вісь  $X$ :

$$A_1C_1 = \sqrt{\left(\frac{r}{\lambda} - r\right)^2 - e^2}; \quad A_1C_2 = \sqrt{\left(\frac{r}{\lambda} + r\right)^2 - e^2}.$$

Хід повзуна  $t$  дорівнює різниці проекцій  $A_1C_2$  і  $A_1C_1$ , тобто:

$$t = A_1C_2 - A_1C_1 = \sqrt{\left(\frac{r}{\lambda} + r\right)^2 - e^2} - \sqrt{\left(\frac{r}{\lambda} - r\right)^2 - e^2}, \quad (3)$$

Перенесемо всі доданки рівняння (3) в одну сторону та прирівняємо його до нуля:

$$\sqrt{\left(\frac{r}{\lambda} + r\right)^2 - e^2} - \sqrt{\left(\frac{r}{\lambda} - r\right)^2 - e^2} - t = 0. \quad (4)$$

В результаті вирішення рівняння четвертого ступеня (4) відносно радіусу кривошипу  $r$  отримаємо чотири формули для розрахунку радіусу кривошипу[3]:

$$r_1 = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{2t(\lambda^2 t + t + \sqrt{(\lambda^2 t + 4\lambda e - t)(\lambda^2 t - 4\lambda e - t)})}; \quad (5)$$

$$r_2 = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{2t(\lambda^2 t + t - \sqrt{(\lambda^2 t + 4\lambda e - t)(\lambda^2 t - 4\lambda e - t)})}; \quad (6)$$

$$r_3 = -\frac{1}{4} \cdot \sqrt{2t(\lambda^2 t + t + \sqrt{(\lambda^2 t + 4\lambda e - t)(\lambda^2 t - 4\lambda e - t)})}; \quad (7)$$

$$r_4 = -\frac{1}{4} \cdot \sqrt{2t(\lambda^2 t + t - \sqrt{(\lambda^2 t + 4\lambda e - t)(\lambda^2 t - 4\lambda e - t)})}. \quad (8)$$

Умовам синтезу будуть задовольняти значення радіусів кривошипу  $r_1$  і  $r_2$ .

Визначимо допустимий кут тиску  $\Theta_{\max}$  в кінематичній парі – шатун-повзун. Для кривошипно-повзунного механізму, що досліджується, максимальне значення кута тиску досягатиме на куті повороту кривошипу  $\varphi_1 = w \cdot 90^\circ$ . При визначенні значення максимального кута тиску використаємо я функцією кута повороту  $\varphi_2(\varphi_1)$  шатуна  $l$ :

$$\varphi_2(\varphi_1) = \arcsin\left(\frac{r \cdot \sin(\varphi_1) + w \cdot e}{l}\right), \quad (9)$$

$$\Theta_{\max} = \varphi_2(90^\circ) \leq [\Theta]. \quad (10)$$

Згідно з вихідними даними виконаємо метричний синтез цільового дезаксіального механізму поштучного відокремлення магазинного завантажувального пристрою взуттєвої машини для завантаження деталей низу взуття.

Таблиця 1

## Вихідні дані для метричного синтезу та кінематичного аналізу

Номер схеми складання (рис. 1)	Початковий кут повороту кривошипа ( $\varphi_0$ )	Хід повзуна ( $t$ ), мм	Величина дезаксіалу ( $e$ ), мм	Коефіцієнт ( $\lambda$ )	Кутова швидкість кривошипа ( $\omega_1$ ), $\text{с}^{-1}$
МЗ	$171^\circ$	80	35	0,2083	60

Визначаємо радіус кривошипу за формулами (5) та (6):

$$r_1 = 24,9 \text{ мм}; r_2 = 5,4 \text{ мм}.$$

Визначаємо довжини шатуна для двох значень кривошипу за формулою (2):

$$l_1 = \frac{24,9}{0,2} = 124,5 \text{ мм}; \quad l_2 = \frac{5,4}{0,2} = 27,0 \text{ мм}.$$

Виконуємо перевірку кута тиску для двох значень кривошипу та шатуна за формулою (10) [1-3]:

$$\text{для } r_1 \text{ та } l_1: \Theta_{\max} = \arcsin\left(\frac{24,9 \cdot \sin(90^\circ) + (-1) \cdot 10}{124,5}\right) = 16,3^\circ < [\Theta] = 40^\circ;$$

$$\text{для } r_2 \text{ та } l_2: \Theta_{\max} = \arcsin\left(\frac{5,4 \cdot \sin(90^\circ) + (-1) \cdot 10}{27,0}\right) = 34,8^\circ < [\Theta] = 40^\circ.$$

Таким чином, при визначених значеннях  $r_1$  та  $l_1$ , максимальний кут тиску  $\Theta_{\max}$

менший, ніж при значеннях  $r_2$  та  $l_2$ . Відповідно характер роботи механізму більш сприятливий. Для подальших досліджень приймаємо  $r = r_1$  і  $l = l_1$ .

Як відомо значення коефіцієнту співвідношення довжин кривошипу та шатуна ( $\lambda$ ) можуть знаходитися в границях  $\lambda = 0,20 \dots 0,50$ . Знайдемо максимальне його значення (з точністю до 0,01), при якому буде виконуватися умова (10).

Наступним етапом після метричного синтезу виконаємо кінематичний аналіз отриманого механізму, в результаті якого визначимо функції положення характерних точок механізму, їхні швидкості та прискорення за один оберт кривошипу.

Функція положення точки  $C$  – кінематичної пари шатун-повзун визначається згідно з формулою:

$$X_C(\varphi_1) = r \cdot \cos(\varphi_1) + l \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{r \cdot \sin(\varphi_1) + w \cdot e}{l} \right)^2}. \quad (11)$$

В загальному випадку функція положення точки  $C$  повзуна залежить від положення траєкторії повзуна з дезаксіалом  $e$ . На рис. 1 зображено вісім варіантів досліджуваного механізму, в яких траєкторія точки  $C$  паралельна одній з осей координат.

Визначимо швидкість точки  $C$ :

$$V_C(t) = \frac{dX_C}{dt} = \frac{dX_C}{d\varphi_1} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} = \frac{dX_C}{d\varphi_1} \cdot \omega_1; \quad (12)$$

Визначимо прискорення точки  $C$ :

$$\begin{aligned} a_C(t) &= \frac{d^2 X_C}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left( \frac{dX_C}{d\varphi_1} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{dX_C}{d\varphi_1} \right) \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{d}{dt} \left( \frac{d\varphi_1}{dt} \right) \frac{dX_C}{d\varphi_1} = \\ &= \frac{d^2 X_C}{d\varphi_1^2} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} \cdot \frac{dX_C}{d\varphi_1} = \frac{d^2 X_C}{d\varphi_1^2} \cdot \left( \frac{d\varphi_1}{dt} \right)^2 + \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} \cdot \frac{dX_C}{d\varphi_1} = \\ &= \frac{d^2 X_C}{d\varphi_1^2} \cdot \omega_1^2 + \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} \cdot \varepsilon_1; \end{aligned} \quad (13)$$

Розрахунки виконаємо за допомогою програми *MathCAD*.

За результатами кінематичного розрахунку побудовані графіки траєкторій точок механізму, функції положення, функції лінійних швидкостей та функції лінійних

прискорень точки  $C$ , які представлені на рис. 2, рис. 3, рис. 4 та рис. 5, відповідно.

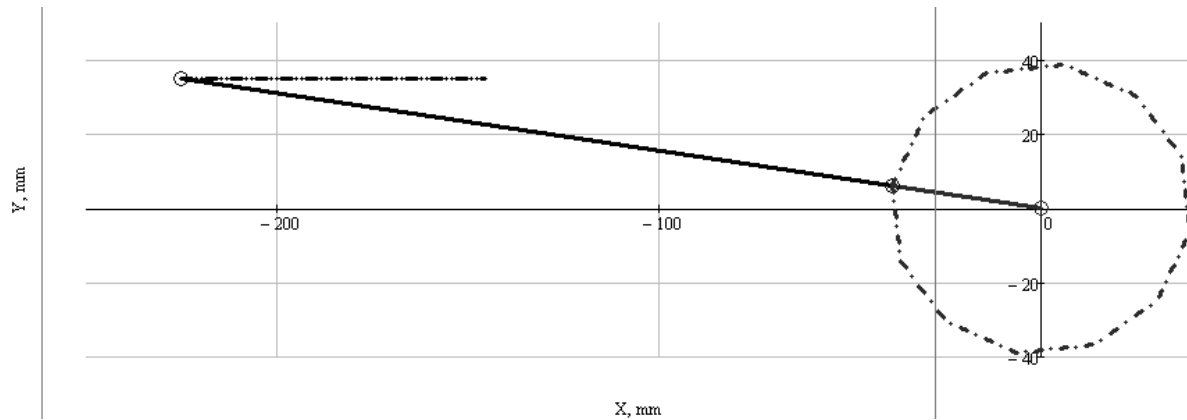


Рис. 2. Графік траєкторій точок механізму



Рис. 3. Графік функції положення точки  $C$



Рис. 4. Графік лінійної швидкості точки  $C$



Рис. 5. Графік лінійного прискорення точки  $C$

**Висновки**

Синтезовано типовий кривошипно-повзунний дезаксіальний механізм, який може бути використаний у завантажувальному пристрої машин легкої промисловості, визначено його основні геометричні параметри. Виконано кінематичний розрахунок в програмі *MathCAD*, за результатами кінематичного розрахунку якого побудовані графіки траєкторій точок механізму, функції положення, функції лінійних швидкостей та функції лінійних прискорень.

**Список використаних джерел**

1. Вавилов В. И. Оборудование заготовочных цехов обувных фабрик. Учебник / В. И. Вавилов. – М. : Легкая индустрия, 1978. – 192 с.
2. Колосков В. И. Оборудование и механизация обувного производства / В. И. Колосков, Б. П. Колясин / Учебник. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 320 с.
3. Орловський Б. В. Комп'ютерне моделювання та синтез типового механізму технологічних машин / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – №5. – С. 103-108.

**References**

1. Vavilov, V.I. (1978). *Oborudovanie zagotovochnyh cehov obuvnyh fabric* [Equipment of shoe shops of shoe factories]. *Uchebnik*. Moscow: Legkaja industrija, 192 p. [in Russian].
2. Koloskov, V.I. & Koljasin, B.P. (1979). *Oborudovanie i mehanizacija obuvnogo proizvodstva* [Equipment and mechanization of footwear production]. *Uchebnik*. – Moscow: Legkaja industrija, 320 p. [in Russian].
3. Orlovskiy, B.V. & Dvorzhak, V.M. (2014). *Komp'yuterne modeliuvannia ta syntezy tipovoho mekhanizmu tekhnologichnykh mashyn* [Computer design and synthesis of typical mechanism of technological machines]. *Announcer of the Kyiv national university of technologies and design*, Vol. 5, Pp.103-108. [in Ukraine].

**Shevchenko Maxim**[ShevchenkoM@gmail.com](mailto:ShevchenkoM@gmail.com)Kyiv National University of  
Technologies and Design**Potopnik Dmitro**[Potopnikand@gmail.com](mailto:Potopnikand@gmail.com)Kyiv National University of  
Technologies and Design**Eremenko Greta**[Eremko@gmail.com](mailto:Eremko@gmail.com)Kyiv National University of  
Technologies and Design**Lagoda Eduard**[Astarta4101@ukr.net](mailto:Astarta4101@ukr.net)Kyiv National University of  
Technologies and Design**Skripak Vladimir**[SkripakVlad@gmail.com](mailto:SkripakVlad@gmail.com)Kyiv National University of  
Technologies and Design**Popovichenko Sergey**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8971-9892>[sergeypopovichenko@gmail.com](mailto:sergeypopovichenko@gmail.com)Kyiv National University of  
Technologies and Design

*Метрический синтез кривошипно-ползунного механизма с применением прикладных CAD программ*

*Шевченко М. В., Лагода Е. В., Потопник Д. Р., Скрипак В. М., Еременко Г. Ю., Поповиченко С. А.*

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель работы.** Проектирование типового кривошипно-ползунного механизма с применением прикладных CAD программ.

**Методика.** Использованы методы метрического синтеза и кинематического анализа типовых механизмов машин легкой промышленности.

**Результаты.** Разработан кривошипно-ползунный механизм, получены математические модели для метрического (геометрического) синтеза типовых механизмов легкой промышленности с использованием CAD программ.

**Научная новизна.** Предложен подход, который упрощает разработку и исследования типовых механизмов машин легкой промышленности за счет использования прикладных CAD программ.

**Практическая значимость** заключается в использовании полученных результатов при проектировании и кинематическом синтезе типовых механизмов машин легкой промышленности.

**Ключевые слова:** машина легкой промышленности, механизм, метрический синтез, кинематическое исследование

*Metric synthesis of a crank-slider mechanism using applied CAD programs*

*Shevchenko M. V., Lagoda E. V., Potopnik D. R., Skripak V. M., Eremenko G. Yu., Popovichenko S. A.*

*Kyiv National University of Technology and Design*

**Purpose.** Designing a typical crank-slider mechanism using applied CAD programs.

**Methodology.** The methods of metric synthesis and kinematic analysis of typical mechanisms of light industry machines are used.

**Findings.** A crank-slider mechanism was developed, mathematical models were obtained for metric (geometric) synthesis of typical light industry mechanisms using CAD programs.

**Originality.** An approach that simplifies the development and research of typical mechanisms of light industry machines through the use of applied CAD programs is proposed.

**Practical value.** It consists in using the results obtained in the design and kinematic synthesis of typical mechanisms of light industry machines.

**Keywords:** light industry machine, mechanism, metric synthesis, kinematic research