

**В. М. Гелетій, А. О. Скригунець\***  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технічної механіки та динаміки машин  
\* Група МП-21

## **КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ АНАЛІТИЧНИХ МЕТОДІВ КІНЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ**

© Гелетій В. М., Скригунець А. О., 2019

Розроблено алгоритми і комп'ютерні програми кінематичного аналізу плоских важільних механізмів на основі програмних блоків, які відповідають різним структурним групам, що входять до складу механізму. Це дає змогу на основі обмеженої кількості програмних блоків формувати комп'ютерні програми визначення кінематичних параметрів різних плоских важільних механізмів впродовж усього циклу їх роботи.

Розроблені алгоритми враховують неоднозначність складання ланок механізму і визначають їх особливі положення, а також реалізують процедуру раціонального візуального подання результатів кінематичного аналізу, що дає змогу ефективно оцінювати механізм за кінематичними критеріями.

**Ключові слова:** плоскі важільні механізми, кінематичний аналіз, комп'ютерні програми, візуалізація результатів.

V. Heletiy, A. Skryhunets

## **COMPUTER REALIZATION OF ANALYTICAL METHODS OF KINEMATIC ANALYSIS OF LINKAGE MECHANISMS AND VISUALIZATION OF THE RECEIVED RESULTS**

The algorithms and computer programs of the kinematic analysis of linkage mechanisms on the basis of software blocks that correspond to different structural groups of the mechanism are developed. This allows, on the basis of a limited number of software units, to form computer programs for determining the kinematic parameters of various linkage mechanisms throughout their cycle of work.

The developed algorithms take into account the ambiguity of the assembly of the links of the mechanism and determine their special positions, as well as implement the procedure of rational visual representation of the results of kinematic analysis that allows to effectively evaluating the mechanism by kinematic criteria.

**Key words:** linkage mechanisms, kinematic analysis, computer programs, visual representation of the results.

**Аналіз відомих досліджень і публікацій і постановка задачі.** Аналітичні залежності геометричного і кінематичного аналізів плоских важільних механізмів вважаються достатньо повно розробленими [1, 2, 4]. Проблеми виникають під час їх реалізації графічними чи числовими методами. Графічні методи практично перестають бути ефективним інструментарієм кінематичного дослідження важільних механізмів через їх трудомісткість і низьку точність і лише завдяки візуальній наочності використовуються в навчальному процесі. Заміна ручної графіки на комп'ютерну вирішує лише проблему точності й не дає змоги ефективно оцінювати механізм за різними критеріями упродовж усього циклу роботи. Недоліки числових методів – це

неоднозначність розв'язання рівнянь, які описують геометрію механізму (варіанти складання ланок), складність опису топології механізму і візуалізації руху ланок. Ще один метод одержання кінематичних параметрів механізму – це його твердотільне моделювання. Недоліком цього підходу є необхідність використання дорогих ліцензійних програмних продуктів і закритість алгоритмів аналізу. Тому реалізація аналітичних методів кінематичного аналізу механізмів відкритими алгоритмами і програмними продуктами з ефективною візуалізацією одержаних результатів залишається важливим завданням для інженерної практики і навчального процесу.

**Основний матеріал.** Плоскі важільні механізми другого класу широко використовують на практиці. Геометричний аналіз таких механізмів аналітичними методами зводиться до аналізу геометрії структурних груп. Для структурної групи 2 класу 1 виду (рис. 1, а), яка складається з ланок  $AB$  і  $BC$ , за вхідними параметрами приймаємо координати зовнішніх кінематичних пар  $x_A, y_A$  і  $x_C, y_C$  та довжини ланок  $l_{AB}$  і  $l_{BC}$ , а вихідними координати кінематичної пари  $B(x_B, y_B)$  і кути  $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C, \varphi_{CA}, \varphi_2$ . Алгоритм розв'язання цієї задачі подано послідовністю формул (1).

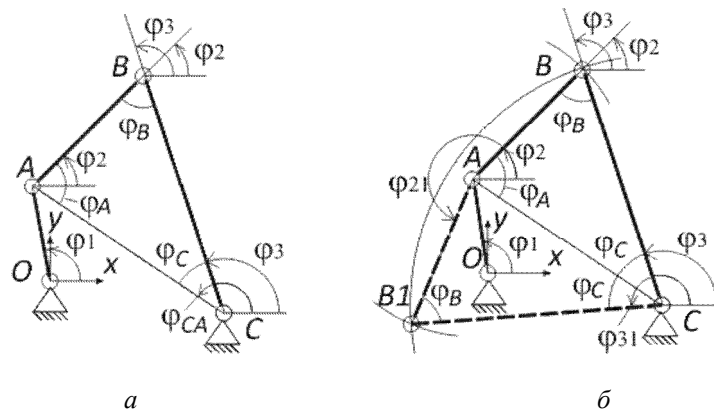


Рис. 1. Розрахункові схеми механізму зі структурною групою 2 класу, 1 виду

$$l_{AC}^2 = (x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2$$

$$j_B = \arccos\left(\frac{l_{AB}^2 + l_{BC}^2 - l_{AC}^2}{2 \cdot l_{AB} \cdot l_{BC}}\right), j_A = \arcsin\left(\frac{l_{BC}}{l_{AC}} \cdot \sin j_B\right), j_C = 180^\circ - j_A - j_B \quad (1)$$

$$j_{x_C} = \arctg\left(\frac{y_A - y_B}{x_A - x_B}\right), j_3 = j_{x_C} - j_C, j_2 = j_3 - j_c,$$

$$x_B = x_c + l_{CB} \cdot \cos j_3,$$

$$y_B = y_c + l_{CB} \cdot \sin j_3.$$

Враховується також неоднозначність розв'язання рівнянь, які описують геометрію механізму (рис. 1, б). Варіанти складання ланок задано параметром PP.

Якщо відомі координати двох точок ланки, наприклад  $A$  і  $B$  (рис. 2), і координати довільної точки ланки  $T$  у локальній системі координат  $x_T, y_T$ , координати точки  $T$  в системі координат  $x, y$  визначаються за нескладним алгоритмом.

Для структурної групи 2 класу 2 виду (рис. 3, а, б), яка складається з ланки  $AB$  і повзуна  $B$ , за вхідними параметрами приймаємо координати зовнішніх кінематичних пар  $x_A, y_A$  і  $x_B$  або  $y_B$  та довжину ланки  $l_{AB}$ , а вихідними координати точки  $B(x_B, y_B)$  і кут  $\varphi_{BA}$ .

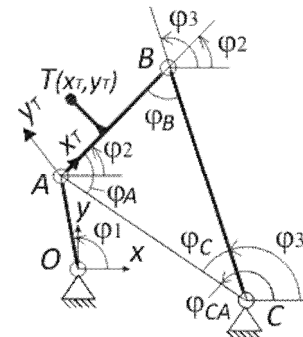


Рис. 2. До визначення координати довільної точки ланки за координатами інших двох точок

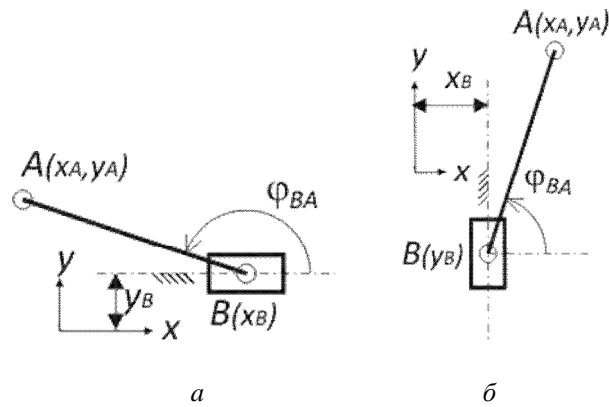


Рис. 3. Розрахункові схеми механізму зі структурною групою 2 класу, 2 виду

Аналоги кутових швидкостей і пришвидшень визначаються формулами (2)

$$\begin{aligned}
 j_2' &= \frac{-r \cdot \sin(j_1 - j_3)}{l \cdot \sin(j_2 - j_3)} \\
 j_3' &= \frac{r \cdot \sin(j_1 - j_2)}{l \cdot \sin(j_3 - j_2)} \\
 j_2'' &= \frac{b \cdot (j_3')^2 - r \cdot \cos(j_1 - j_3) - l \cdot (j_2')^2 \cdot \cos(j_2 - j_3)}{l \cdot \sin(j_2 - j_3)} \\
 j_3'' &= \frac{r \cdot \cos(j_1 - j_2) + l \cdot (j_2')^2 - b \cdot (j_3')^2 \cdot \cos(j_3 - j_2)}{b \cdot \sin(j_3 - j_2)}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Автори розробили алгоритм та комп'ютерну програму в середовищі MATLAB, що дає змогу перевірити можливість повного повороту вхідної ланки (кривошипа) та визначити крайні положення вихідної ланки (коромисла) (рис. 1).

Умова повного повороту вхідної ланки визначається правилом Грасгофа, яке стверджує, що найкоротша ланка чотириланкового важільного механізму може бути кривошипом, якщо сума довжин найдовшої та найкоротшої ланок менша, ніж сума довжин решти двох ланок.

$$L_{\max} + L_{\min} < L_i + L_j$$

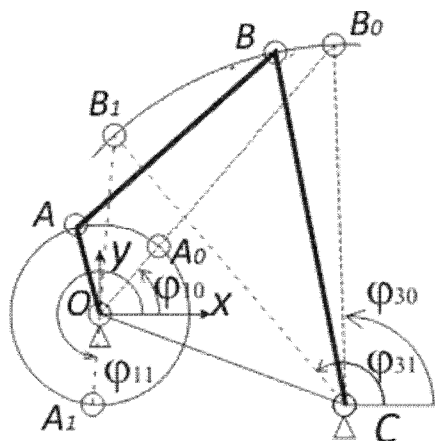


Рис. 4. Схема механізму в крайніх положеннях ланки BC

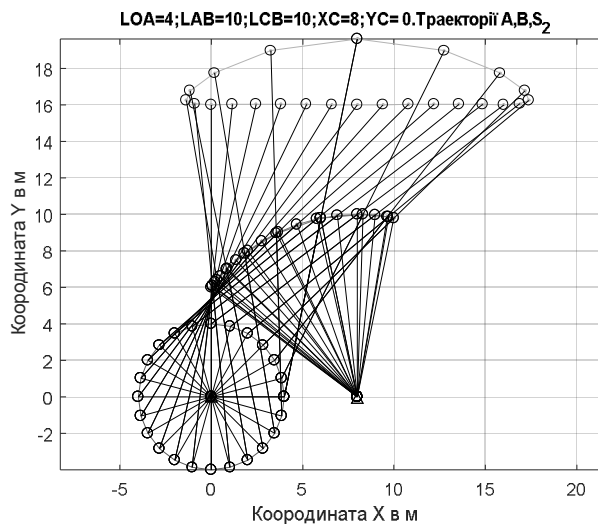
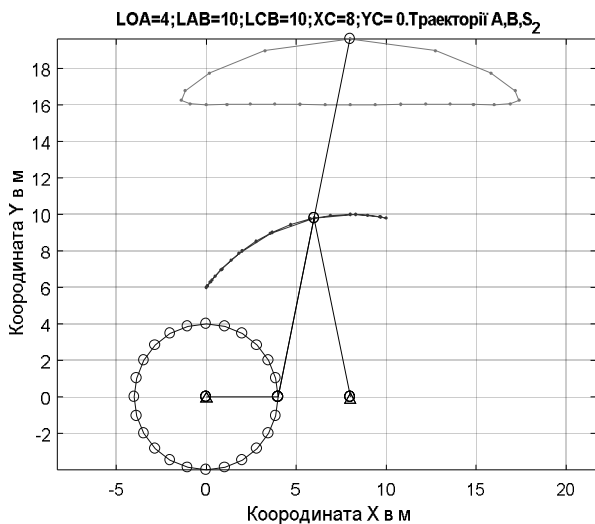


Рис. 5. Комп'ютерна візуалізація руху л механізму Чебишева

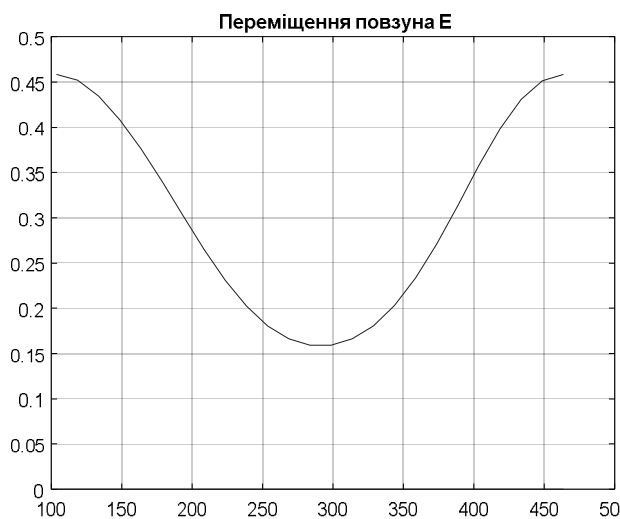
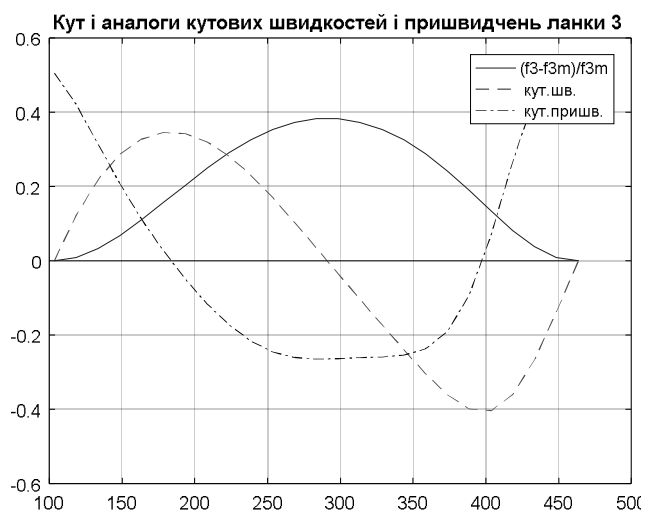
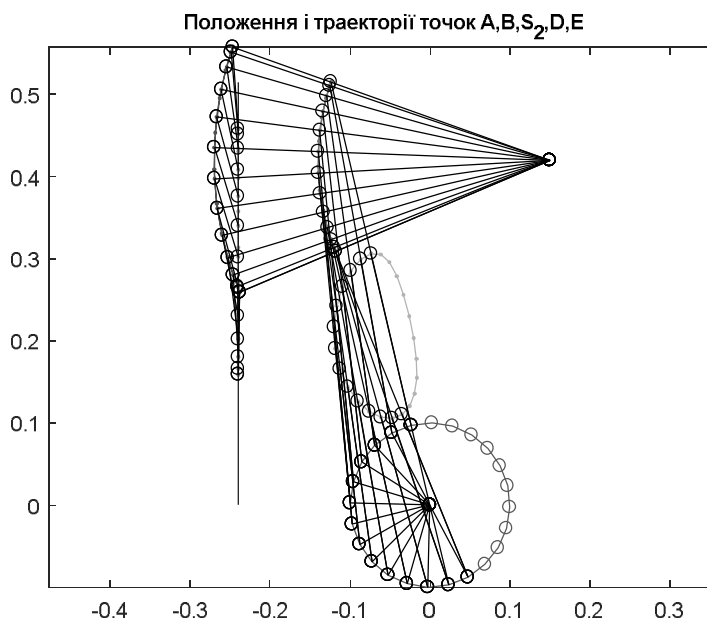
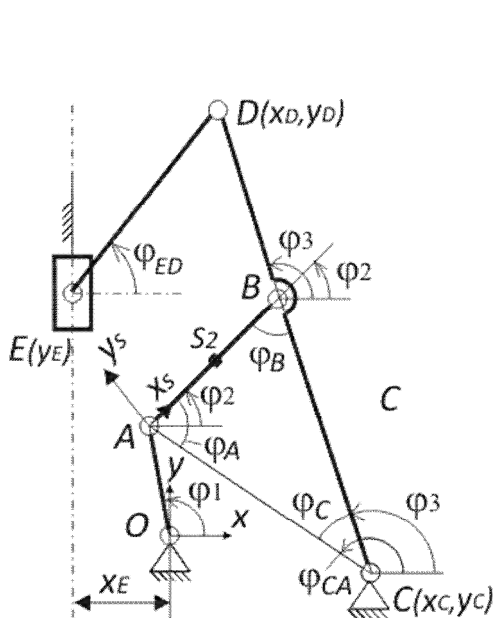


Рис. 6. Схема, комп'ютерна візуалізація руху і кінематичні параметри важільного механізму

Програма також уможливорює наочну візуалізацію руху ланок механізму і траєкторій їх окремих точок у вигляді комп'ютерного графічного представлення (рис. 5), а також одержання числового масиву кінематичних параметрів механізму, необхідних для його подальшого силового аналізу.

Комп'ютерна процедура послідовної візуалізації положень ланок механізму дуже наочна і дає важливу інформацію щодо траєкторій окремих точок ланок механізму.

Схему, комп'ютерну візуалізацію руху і кінематичні параметри п'ятиланкового важільного механізму показано на рис. 6.

**Висновок.** Розроблено алгоритми і комп'ютерні програми кінематичного аналізу плоских важільних механізмів на основі програмних блоків, які відповідають різним структурним групам, що входять до складу механізму. Це дає змогу на основі обмеженої кількості програмних блоків формувати комп'ютерні програми визначення кінематичних параметрів різних плоских важільних механізмів впродовж усього циклу їх роботи.

Розроблені алгоритми враховують неоднозначність складання ланок механізму і визначають їх особливі положення, а також реалізують процедуру раціонального візуального подання результатів кінематичного аналізу, що дає змогу ефективно оцінювати механізм за кінематичними критеріями.

Розроблений алгоритм і комп'ютерна програма дають можливість перевірити умову Грасгофа і визначити крайні положення вихідної ланки важільного механізму

1. Кіницький Я. Т. *Теорія механізмів і машин.* – К.: Наук. думка. 2002. – 660 с. 2. *Розрахунок важільних і кулачкових механізмів з допомогою ПЕОМ: навч. посіб.* / Ф. Й. Златопольский, Г. Б. Філімоніхін, В. В. Коваленко, О. Б. Чайковський. – Кіровоград, 2003. – 149 с. 3. Uicker J. J., Pennock G. R., Shigley J. E. *Theory of Machines and Mechanisms.* Oxford University Press. – 2003. – 744 p. 4. Rao J. S. *Kinematics of Machinery Through HyperWorks.* e-ISBN 978-94-007-1156-3 DOI 10.1007/978-94-007-1156-3 Springer Science+Business Media B.V. 2011.