

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ТРЕТЬОГО КЛАСУ З СКЛАДНИМИ ЛАНКАМИ

Плоскі механізми третього класу дозволяють отримати складні траєкторії руху окремих точок ланок, що мають плоскопаралельний рух як за геометрією, так і за кінематичними законами руху, тому знайшли застосування в машинах технологічного обладнання легкої промисловості. З іншого боку, складність кінематичного дослідження таких механізмів обумовлена структурними особливостями будови кінематичної схеми з групами ланок третього класу, тому дозволяє стверджувати про актуальність робіт, спрямованих знаходити шляхи спрощення аналізу таких складних механізмів з одночасною оптимізацією часу, який витрачається на графічні побудови на основі залежностей кінематичних параметрів точок механізму, що в цілому впливає на достовірність та точність результатів дослідження. Розроблено послідовність та виконано кінематичне дослідження швидкостей точок ланок плоских механізмів графоаналітичним способом зі структурними групами ланок третього та четвертого порядків, до складу яких надходять складні за структурою ланки. Графоаналітичний спосіб дослідження в своїй основі базується на можливості для механізмів, в структурі яких спостерігаються складні ланки, що мають плоскопаралельний рух графічно визначити положення миттєвих центрів їх обертання та визначити кінематичні параметри руху таких ланок та механізму в цілому.

Ключові слова: механізм; кінематичне дослідження графічним способом; вектор швидкості; план швидкостей.

S. KOSHEL, A. KOSHEL

Kiev National University of Technologies and Design

KINEMATIC ANALYSIS OF THIRD CLASS PLANE MECHANISMS WITH COMPLEX LINKS

Flat mechanisms of the third class allow to obtain complex trajectories of individual points of links that have plane-parallel motion, both in geometry and in the kinematic laws of motion. Such mechanisms have found application in machines of technological equipment of light industry. The complexity of the kinematic study of such mechanisms is due to the structural features of the structure of the kinematic scheme with the structural groups of the third class. Relevant are the works aimed at finding ways to simplify the analysis of such complex mechanisms while optimizing the time spent on graphical constructions, which generally affects the accuracy of the research results. The sequence is developed and the kinematic research of velocities of points of links of the flat mechanism by a graphoanalytical way with structural groups of links of the third class of the third and fourth orders which include complex links. The graphoanalytical method of research is basically based on the possibility for mechanisms in the structure of which complex links are observed, to graphically determine the position of instantaneous centers of their rotation and to determine the kinematic parameters of such links and the mechanism as a whole.

Keywords: mechanism, graphic kinematic research; velocity vector; speed plan.

Вступ

Плоскі механізми третього класу дозволяють отримати складні траєкторії руху окремих точок ланок, що мають плоскопаралельний рух, як за геометрією так і за кінематичними законами руху, тому знайшли застосування в машинах технологічного обладнання легкої промисловості. Складність кінематичного дослідження таких механізмів обумовлена структурними особливостями будови кінематичної схеми з групами ланок третього класу, тому дозволяє стверджувати про актуальність робіт спрямованих знаходити шляхи спрощення аналізу таких складних механізмів з одночасною оптимізацією часу, який витрачається на графічні побудови на основі залежностей кінематичних параметрів точок механізму, що в цілому впливає на достовірність та точність результатів дослідження.

Постановка завдання

Виконати графоаналітичним способом кінематичні дослідження швидкостей точок ланок плоских механізмів з структурними групами ланок третього класу третього та четвертого порядків, до складу яких надходять складні за структурою ланки. Розробити послідовність кінематичного аналізу таких механізмів, взявши до уваги те, що для складних ланок, які мають плоскопаралельний рух та надходять до структурних груп ланок механізму можна графічно визначити положення миттєвих центрів їх обертання, що в свою чергу дозволяє виконати кінематичне дослідження швидкостей точок, які співпадають з геометричними центрами кінематичних пар механізму без необхідності складання векторних кінематичних рівнянь та їх графічного розв'язання.

Аналіз досліджень та публікацій

Питання дослідження складних механізмів вищих класів залишаються актуальними. В літературних джерелах їм приділяється всебічна увага. В роботах розглядаються питання синтезу та аналізу механізмів, до складу яких надходять структурні групи ланок вищих класів. Питанням синтезу складних механізмів присвячений ряд робіт останніх років [1, 2, 3]. Кінематичний аналіз механізмів вищого класу виконується дослідниками аналітично [4, 5], графоаналітично [6, 7, 8] або методом моделювання з використанням необхідного програмного забезпечення [9].

Оригінальний підхід кінематичного аналізу того чи іншого плоского механізму з складними структурними групами ланок полягає в тому, щоб для конкретного механізму використати або розробити таку послідовність проведення дослідження, яка б урахувала структурні його особливості.

Формулювання цілей

Розрахувати кінематичні параметри кутових швидкостей ланок плоского механізму та лінійних швидкостей їх окремих точок графоаналітичним способом з структурними групами ланок третього класу третього та четвертого порядків, до складу яких надходять складні за структурою ланки.

Результати та їх обговорення

Розглянемо складні плоскі шарнірно-важільні механізми третього класу (рис. 1), що складаються з ведучої ланки 1, яка з'єднана з корпусом 0 та інших ланок, серед яких ланки 2, 3 (а); 2 ÷ 4 (б); 2, 3, 5 (в) – шатуни, інші ведені ланки – коромисла.

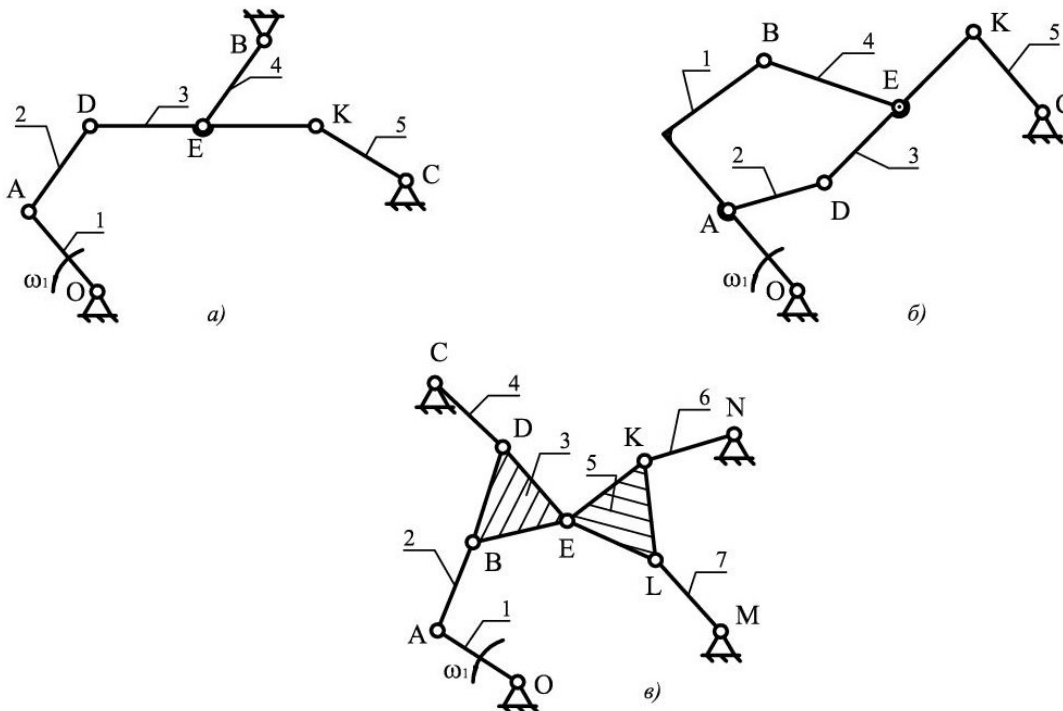


Рис. 1. Кінематичні схеми механізмів третього класу

Два з них (рис. 1 а, б) є механізмами третього класу з одним ведучим кривошипом та однією структурною групою ланок третього класу третього порядку, тому формула будови таких механізмів має однаковий вигляд:

$$1\text{клас (ланки}0,1) \rightarrow 3\text{клас } 3\text{порядок (ланки}2 \div 5) .$$

Третій механізм (рис. 1 в) також є механізмом третього класу та має одну структурну групу третього класу четвертого порядку, тому йому відповідає формула:

$$1\text{клас (ланки}0,1) \rightarrow 3\text{клас } 4\text{порядок (ланки}2 \div 7) .$$

Структурною особливістю наведених вище механізмів є наявність в їх структурі ланок, що приймають участь в утворенні більше двох кінематичних пар, тобто складних ланок. Так, на схемі (рис. 1, а) такою ланкою буде шатун 3, а на схемах (рис. 1, б, в) таких ланок спостерігається по дві на кожній схемі: кривошип 1, шатун 3 на схемі (б) та два шатуни 3, 5 -(в).

Кінематичний аналіз таких механізмів вимагає від дослідників застосування методів аналізу, для яких в певній послідовності складаються системи векторних кінематичних рівнянь, що застосовуються для графічних побудов, які з урахуванням третього класу механізмів необхідно буде робити декілька разів, для того щоб отримати дійсні результати розрахунків, або використовувати методи, які дозволяють визначити дійсні кінематичні параметри однієї «особливої» точки ланки механізму, а потім після проведення повторного графоаналітичного дослідження механізму отримати дійсні результати розрахунків.

Для деяких випадків складних механізмів виконати кінематичне дослідження графоаналітичним способом не є оптимально можливим. Пояснити таке можна на прикладі кінематичної схеми наведеної на рис. 1, в. Вихідними параметрами для кінематичного дослідження механізму є кутова швидкість кривошипу 1 ($\omega_1 = \text{const, c}^{-1}$) та масштаб довжин (Kl, м/мм) кінематичної схеми механізму. Тому дослідження починається з параметрів точок кривошипу 1, за яким згідно кінематичної схеми спостерігаємо послідовне приєднання двох шатунів 2, 3, кінематичні параметри точок якого є невідомими. Подальші дослідження

Використовуємо положення курсу теоретична механіка, щодо дослідження плоскопаралельного руху твердого тіла та на підставі вище викладеного визначаємо положення точок миттєвих центрів обертання (М.Ц.О.) ланок 3 та 5 на кінематичних схемах наведених на рис. 2, відповідно, a та b . Так положення М.Ц.О. ланки 3 (точка P_3 , рис. 2, a) визначаємо на перетині перпендикулярів побудованих з точок E та K , відповідно, до напрямків їх векторів швидкостей \vec{V}_E та \vec{V}_K , які в свою чергу знаходимо з умови їх належності до, відповідно, коромисел 4 та 5, що мають обертальний рух навколо, відповідно, центрів кінематичних пар B та C ($\vec{V}_E \perp EB, \vec{V}_K \perp KC$). З таких же міркувань визначаємо на кінематичній схемі (рис. 2, b) положення точки P_5 (точка перетину перпендикулярів побудованих з точок K та L , відповідно, до напрямків їх векторів швидкостей \vec{V}_K, \vec{V}_L , де $\vec{V}_K \perp KN, \vec{V}_L \perp LM$) – М.Ц.О. складної ланки 5.

Визначення положення М.Ц.О для складних ланок, що мають плоскопаралельний рух є «ключовим» моментом для подальшого розв'язання задач для складних механізмів вищого класу. Дійсно, положення точки М.Ц.О. на кінематичній схемі механізму для складної ланки дозволяє визначити напрямки векторів швидкостей будь яких інших точок цієї ж ланки. Визначаємо напрямки векторів швидкостей \vec{V}_D та \vec{V}_E на кінематичних схемах рис. 2, відповідно a та b , де напрямки векторів швидкостей знаходимо за знайденими положеннями відповідних М.Ц.О. складних ланок $\vec{V}_D \perp P_3D, \vec{V}_E \perp P_5E$.

Подальший розв'язок задач полягає в тому, щоб визначити положення точок М.Ц.О. всіх інших ланок, які в механізмах мають плоскопаралельного рух. Так на кінематичній схемі (рис. 2, a) визначаємо положення точки P_2 -М.Ц.О. шатуна 2 (точка перетину перпендикулярів до векторів швидкостей \vec{V}_D та \vec{V}_A побудованих, відповідно, з точок D та A). На схемі (рис. 2, b) перше ніж визначити положення точки P_2 -М.Ц.О. шатуна 2 необхідно знайти положення точки P_3 -М.Ц.О. шатуна 3, для чого з точок E та D будуюмо перпендикуляри до напрямків векторів швидкостей \vec{V}_E та \vec{V}_D . Напрямок вектора швидкості \vec{V}_D обумовлений рухом коромисла 4 навколо центра його обертання точки C ($\vec{V}_D \perp CD$). Визначаємо напрямки швидкості точки B ($\vec{V}_B \perp P_3B$) та ,нарешті, положення М.Ц.О. шатуна 2, як точки перетину перпендикулярів до векторів \vec{V}_B та \vec{V}_A ($\vec{V}_A \perp OA$).

Знайдені положення точок P_2 -М.Ц.О. шатунів 2, на кінематичних схемах (рис. 2, a, b) дозволяють визначити їх кутові швидкості за величиною та напрямком, тому що, з одного боку, точки A належать до шатунів 2, положення точок М.Ц.О. яких знайдені, а з іншого – точки A механізмів належать до кривошипів, рух яких задається за умовою задач кінематичного аналізу. З рівняння:

$$V_A = \omega_1 \cdot l_{OA} = \omega_2 \cdot l_{P_2A},$$

знаходимо

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot l_{OA} / l_{P_2A} = 100 \cdot 0,017 / 0,011 = 150 \text{ c}^{-1},$$

(рис. 2, a) та

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot l_{OA} / l_{P_2A} = 100 \cdot 0,015 / 0,003 = 500 \text{ c}^{-1},$$

(рис. 2, b), де $\omega_1 = 100 \text{ c}^{-1}$ кутова швидкість кривошипів 1,

$$l_{OA} = 0,017 \text{ м}, l_{P_2A} = 0,011 \text{ м}$$

(рис. 2, a);

$$l_{OA} = 0,015 \text{ м}, l_{P_2A} = 0,003 \text{ м}$$

(рис. 2, b) – відповідні довжини.

Використовуємо кінематичні схеми (рис. 2, a, b) для визначення кутових швидкостей інших ланок механізмів третього класу:

$$\omega_3 = V_D / l_{P_3D} = \omega_2 \cdot l_{P_2D} / l_{P_3D} = 150 \cdot 0,019 / 0,025 = 114,0 \text{ c}^{-1},$$

$$\omega_4 = V_E / l_{EB} = \omega_3 \cdot l_{P_3E} / l_{EB} = 114,0 \cdot 0,01 / 0,017 = 67,1 \text{ c}^{-1},$$

$$\omega_5 = V_K / l_{KC} = \omega_3 \cdot l_{P_3K} / l_{KC} = 114,0 \cdot 0,015 / 0,017 = 100,6 \text{ c}^{-1} \text{ до (рис. 2, a);}$$

$$\omega_3 = V_B / l_{P_3B} = \omega_2 \cdot l_{P_2B} / l_{P_3B} = 150 \cdot 0,015 / 0,046 = 163,0 \text{ c}^{-1},$$

$$\omega_4 = V_D / l_{CD} = \omega_3 \cdot l_{P_3D} / l_{CD} = 114,0 \cdot 0,029 / 0,014 = 337,6 \text{ c}^{-1},$$

$$\omega_5 = V_E / l_{P_5E} = \omega_3 \cdot l_{P_3E} / l_{P_5E} = 114,0 \cdot 0,037 / 0,007 = 861,6 \text{ c}^{-1},$$

$$\omega_6 = V_K / l_{KN} = \omega_5 \cdot l_{P_5K} / l_{KN} = 861,6 \cdot 0,011 / 0,015 = 631,8 \text{ c}^{-1},$$

$$\omega_7 = V_L / l_{LM} = \omega_5 \cdot l_{P_5L} / l_{LM} = 861,6 \cdot 0,018 / 0,016 = 969,3 \text{ c}^{-1} \text{ до (рис. 2, b),}$$

де V_i – лінійні швидкості i -х точок, м/с; l_{ij} – відповідні довжини на кінематичних схемах, м.

За знайденими величинами миттєвих кутових швидкостей ланок визначаємо абсолютні лінійні швидкості точок, що збігаються з центрами кінематичних пар механізмів за рівнянням:

$$V_i = \omega_i \cdot l_{P_i I},$$

де ω_i – кутові швидкості i -х ланок, c^{-1} ; $l_{P_i I}$ – відстані від відповідного М.Ц.О. до i -ї точки, м.

Візуалізацію отриманих результатів лінійних швидкостей наводимо в вигляді планів швидкостей (рис. 2, *a, b*), які побудовані в довільно обраних масштабах (КЛ, м/мм).

Висновки

Розраховані кінематичні параметри кутових швидкостей ланок плоских механізмів та лінійні швидкості їх окремих точок графоаналітичним способом зі структурними групами ланок третього класу третього та четвертого порядків та розроблені послідовності дій таких досліджень, які ураховують наявність в структурі механізмів складних ланок.

Література

1. Joldasbekov Skanderbek, Ibraev Sayat, Zhauyt Algazy, Nurmagambetova Aiman, Imanbaeva Nurbibi Modular synthesis of plane lever six-link mechanism of high class. Middle-East Journal of Scientific Research, Vol. 21, Issue 12, 2014, p. 2339–2345.
2. Kosbolov Serikbay, Zhauyt Algazy, Kosbolov Serikbol Kinematic synthesis of spatial linkages with spherical pairs. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 54, Issue 1, 2016, p. 75–85.
3. Kosbolov Serikbay, Duisebayeva Kulzada, Zhauyt Algazy, Buzauova Toty Synthesis of spatial lever mechanisms on the basis of the initial kinematic chains SSS pairs. Ponte, Vol. 72, Issue 2, 2016, p. 31–52.
4. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой аналитическим методом / Д.О. Чашников, В.В. Горяшин // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 158–159.
5. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой аналитическим методом / Д.О. Чашников, В.В. Горяшин // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 158–159.
6. Dobija Marta, Drewniak Józef, Zawiślak Stanisław, Shingissov Beibit, Zhauyt Algazy Countour graph application in kinematical analysis of crane mechanism. 24th International Conference on Theory of Machines and Mechatronic Systems, Poland, 2014, p. 31–32.
7. Koshel S. Definition of accelerations of points of a plane mechanism of the fourth class by graph-analytical method / S. Koshel, A. Koshel // Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi. – 2018. – № 2. – P. 28–33.
8. Кошель С.О. Визначення прискорень точок плоского механізму четвертого класу з рухомим замкненим контуром, утвореним трьома шатунами та коромислом / С.О. Кошель, Г.В. Кошель // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 4. – С. 6–11.
9. Дворжак В. М. Візуалізація схемотехнічного моделювання механізмів технологічних машин [Електронний ресурс] / В. М. Дворжак, Д. Л. Литвяк, І. С. Мелашенко, В. В. Мочоник // Технології та дизайн. – 2018. – № 4 (29). – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_4_9

References

1. Joldasbekov Skanderbek, Ibraev Sayat, Zhauyt Algazy, Nurmagambetova Aiman, Imanbaeva Nurbibi Modular synthesis of plane lever six-link mechanism of high class. Middle-East Journal of Scientific Research, Vol. 21, Issue 12, 2014, p. 2339–2345.
2. Kosbolov Serikbay, Zhauyt Algazy, Kosbolov Serikbol Kinematic synthesis of spatial linkages with spherical pairs. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 54, Issue 1, 2016, p. 75–85.
3. Kosbolov Serikbay, Duisebayeva Kulzada, Zhauyt Algazy, Buzauova Toty Synthesis of spatial lever mechanisms on the basis of the initial kinematic chains SSS pairs. Ponte, Vol. 72, Issue 2, 2016, p. 31–52.
4. Chashnikov D.O. Kinematicheskoe issledovanie ploskogo vosmizvennogo mehanizma shestogo klassa s postupatelnoy paroj analiticheskim metodom / D.O. Chashnikov, V.V. Garyashin // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. – 2012. – № 6. – S. 158–159.
5. Chashnikov D.O. Kinematicheskoe issledovanie ploskogo vosmizvennogo mehanizma shestogo klassa s postupatelnoy paroj analiticheskim metodom / D.O. Chashnikov, V.V. Garyashin // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. – 2012. – № 6. – S. 158–159.
6. Dobija Marta, Drewniak Józef, Zawiślak Stanisław, Shingissov Beibit, Zhauyt Algazy Countour graph application in kinematical analysis of crane mechanism. 24th International Conference on Theory of Machines and Mechatronic Systems, Poland, 2014, p. 31–32.
7. Koshel S. Definition of accelerations of points of a plane mechanism of the fourth class by graph-analytical method / S. Koshel, A. Koshel // Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi. – 2018. – № 2. – P. 28–33.
8. Koshel S.O. Vyznachennia pryskoren tochok ploskoho mekhanizmu chetvertoho klasu z rukhomym zamknеныm konturom, utvorenym troma shatunamy ta koromyslom / S.O. Koshel, H.V. Koshel // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 4. – S. 6–11.
9. Dvorzhak V. M. Vizualizatsiia skhemotekhnichnoho modeliuвання mekhanizmiv tekhnolohichnykh mashyn [Elektronnyi resurs] / V. M. Dvorzhak, D. L. Lytviak, I. S. Melashchenko, V. V. Mochonyk // Tekhnolohii ta dyzain. – 2018. – № 4 (29). – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_4_9

Надійшла / Paper received : 15.10.2020

Надрукована/Printed :27.11.2020