

АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З РУХОМИМ ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ, УТВОРЕНИМ ТРЬОМА ШАТУНАМИ ТА КОРОМИСЛОМ

В технологічному обладнанні легкої промисловості все частіше застосовуються складні багатоланкові плоскі механізми. Про актуальність робіт з кінематичного аналізу складних багатоланкових механічних систем твердих тіл дозволяє стверджувати факт відсутності універсального способу кінематичного дослідження таких механізмів. Для кінематичного аналізу швидкостей точок ланок складного плоского механізму четвертого класу графоаналітичним способом розроблено послідовність дій, яка базується на положеннях класичного курсу теоретичної механіки про миттєві центри швидкостей твердих тіл, що мають плоскопаралельний рух. Отримано вектори та розраховано величини швидкостей точок ланок структурних груп четвертого класу другого порядку складного плоского механізму методом, в якому умовно змінено ведучу ланку, що дозволило виконати його дослідження як механізму третього класу з структурною групою третього порядку.

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

S.O. KOSHEL, A.V. KOSHEL
Kyiv National University of Technologies and Design

ANALYSIS FLAT MECHANISMS WITH MOVING THE FOURTH GRADE CLOSED CIRCUIT FORMED BY CONNECTING ROD THREE AND FOLLOWER

In equipment of light industry production increasingly used sophisticated flat mechanisms. The relevance of the work of the kinematic analysis of multilink solids of mechanical systems suggests the lack of a universal method of kinematic study of these mechanisms. For kinematic analysis of velocity the points of complex of flat mechanism fourth grade of using a graphic-analytical method developed sequence of actions based on the provisions of the classic course of theoretical mechanics about of instants centres velocity of solids with planar movement. Calculated vectors and velocity of points of structural groups fourth grade planar second order complex mechanisms. In the method conventionally was modified of the driving link and that allowed him to perform research as a mechanism of structural third group of the third order.

Keywords: mechanism, kinematic research, the velocity vector, plan of the velocity vectors.

Вступ

Проектування нових машин та вдосконалення існуючого технологічного обладнання легкої промисловості пов'язано з методами аналізу плоских механізмів, а саме з досконалістю методів дослідження структурних груп ланок, з яких механізми складаються. Методи кінематичного та динамічного дослідження діад або двоповодкових груп набули найбільшого розповсюдження. Достатньо відомі та розроблені методи аналізу структурних груп з чотирма ланками, що утворюють групи третього класу третього порядку, на базі яких можна структурно синтезувати механізми того ж класу.

Структурні групи з чотирма ланками, що утворюють групи четвертого класу та групи, до складу яких надходять шість та більше ланок з одного боку вже використовуються в механізмах технологічного обладнання легкої промисловості, з іншого – не мають загальновідомих методів кінематичного та динамічного дослідження в зв'язку з тим, що утворюють різноманіття класів та видів структурних груп.

Недостатня розробка методів та способів аналізу таких структурних груп є фактором, що стримує їх використання в машинобудуванні легкої промисловості.

Постановка завдання

Виконати кінематичне дослідження швидкостей точок, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар механізму четвертого класу на основі структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомим замкненим контуром, утвореним трьома шатунами та коромислом. Послідовність кінематичного аналізу повинна базуватися на положеннях курсу теоретична механіка про миттєвий центр швидкостей (МЦШ) твердого тіла, що має плоскопаралельний рух та положень курсу теорія механізмів і машин про структурну властивість механізмів змінювати клас в залежності від умовно обраної іншої можливої ведучої ланки механізму, що надходить до складу можливих початкових механізмів в структурі ведених ланок механізму четвертого класу.

Аналіз досліджень та публікацій

Питанням практичного використання та теоретичного дослідження параметрів плоских складних механізмів присвячена значна кількість публікацій. Патентами на корисну модель [1, 2] захищено застосування плоских багатоланкових груп ланок вищих класів в механізмах технологічного обладнання. Теоретичне дослідження та практичне використання механізмів з структурними групами вищого класу розглянуто в ряді робіт [3, 4], зокрема в роботах присвячених обладнанню легкої промисловості [5–9].

Кінематичні дослідження складних плоских механізмів є актуальними тому, що в кожному конкретному випадку необхідно виконувати таку послідовність дій, яка викликана одночасним застосуванням декількох методів кінематичного аналізу, а універсального способу дослідження різноманіття складних механізмів вищих класів, на жаль, не існує.

Формулювання цілей

Визначити вектори швидкостей точок складного плоского механізму, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомих замкненим контуром, утвореним трьома шатунами та коромислом.

Результати та їх обговорення

Розглянемо складний плоский шарнірно-важільний механізм четвертого класу (рис. 1), що складається з ведучої ланки 1, яка з'єднана зі стояком 0 та інших ведених ланок 2 ÷ 5, серед яких ланки 2 ÷ 4 – шатуни, 5 – коромисло. Початковий механізм (ланки 0, 1) разом з структурною групою четвертого класу другого порядку, до складу якої надходить сукупність чотирьох ланок 2 ÷ 5 ($n=5$) разом з шістьма кінематичними парами п'ятого класу A, B, C, D, E, K ($p_5=6$) утворюють механізм четвертого класу з ступенем вільності одиниця за формулою Чебишева: $W=3n-2p_5-p_4$, тобто утворюють механізм з одним ведучим кривошипом. Формула будови складного механізму, що досліджується має вигляд:

1 клас (ланки 0,1) → 4 клас 2 порядку (ланки 2 ÷ 5).

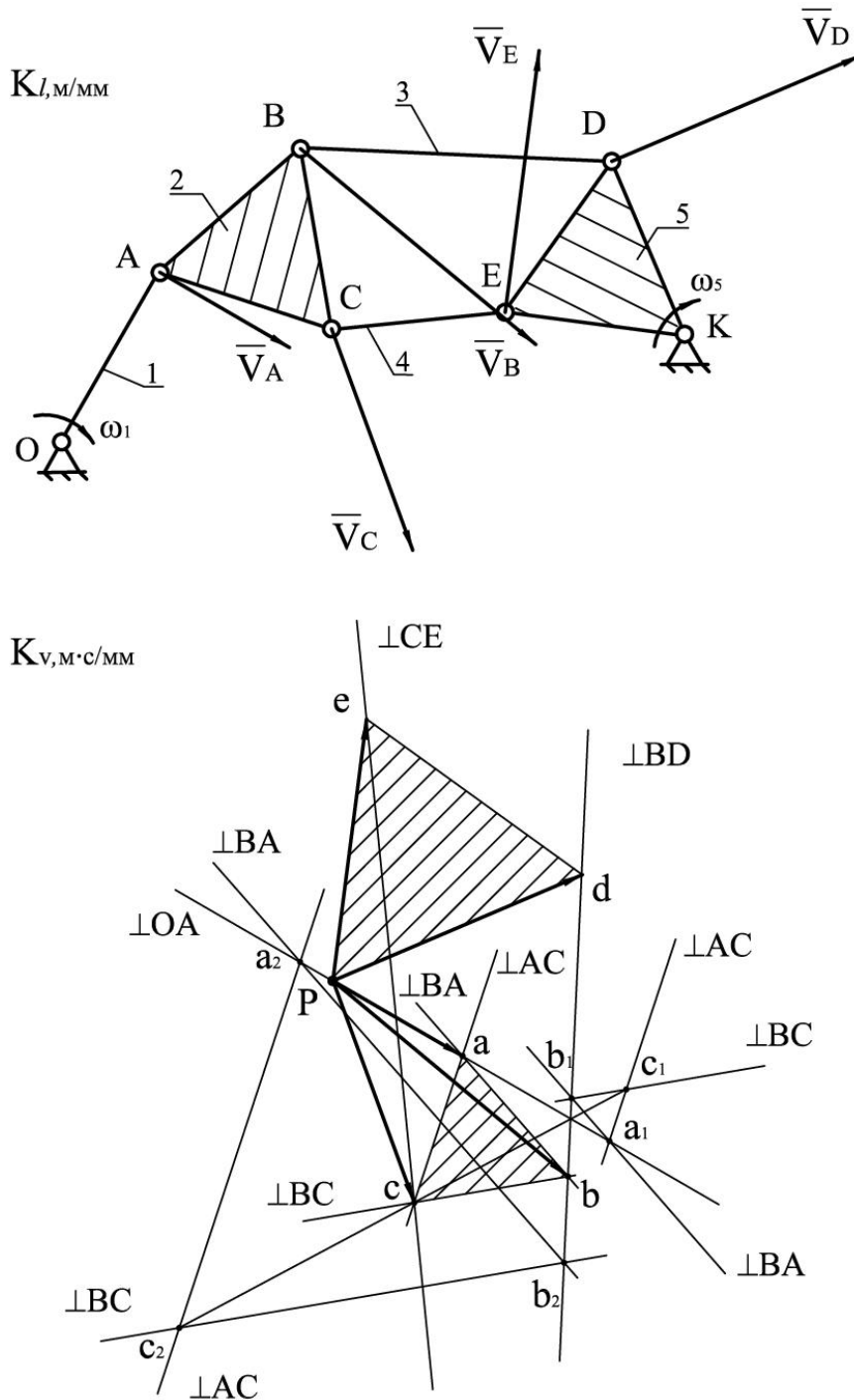


Рис. 1. Кінематична схема та план швидкостей механізму четвертого класу

Структурною особливістю механізму є наявність змінного за формою замкненого контуру B, C, D,

Е, який утворений трьома шатунами ВС, BD, CE та коромислом DE, при чому один з шатунів, що розташований напроти коромисла та само коромисло мають вигляд складних ланок (шатун 2 та коромисло 5 утворюють з іншими ланками по 3 кінематичні пари). Виконати кінематичний аналіз механізму з застосуванням відомих методів дослідження складних механізмів третього класу графоаналітичним способом не виявляється можливим. Пов'язано таке з тим, що до шатуна 2, який безпосередньо з'єднаний з кривошипом 1 з іншого боку приєднані два шатуни 3, 4, кінематичні параметри точок яких та їх траєкторії є невідомими.

Вхідними параметрами для кінематичного дослідження механізму є кутова швидкість кривошипу 1 ($\omega_1 = \text{const}$, с^{-1}) та масштаб довжин (КІ, м/мм) кінематичної схеми механізму.

Використовуємо графоаналітичний метод кінематичного дослідження. Задачу розв'язуємо за допомогою основних положень кінематичного аналізу механізмів курсу теорія механізмів і машин та положень курсу теоретична механіка, щодо дослідження плоскопаралельного руху твердого тіла.

Ураховуємо структурну властивість механізмів вищих класів змінювати клас за умови зміни початкового механізму іншим можливим умовним механізмом першого класу [10]. Зрозуміло, що корисним буде випадок, якщо така зміна призведе до зменшення класу механізму.

За початковий механізм обираємо єдино можливий інший варіант - сукупність ланок 0, 5. Механізм набуває вигляду механізму третього класу, формула будови якого І клас (ланки 0,5) \rightarrow 3 клас Зпорядок (ланки 1-4).

Кінематичне дослідження починаємо з того, що умовно задаємося кутовою швидкістю ω_5 коромисла 5 за величиною та напрямком, як ланки, яка згідно з формулою будови механізму є іншою умовно можливою ведучою ланкою механізму: на плані швидкостей відкладаємо вектор $\vec{P}d$ довільної довжини за напрямком вздовж перпендикуляра до лінії DK, напрямком кутової швидкості ω_5 обираємо довільно, наприклад, за напрямком руху годинникової стрілки. За теоремою подібності визначаємо на плані швидкостей положення точки «е». На кінематичній схемі визначаємо положення «особливих точок» S_1, S_2, S_3 , як точок попарного перетину поводків: O,A та B,D; C,E - B,D; O,A - C,E. Складаємо систему векторних рівнянь для визначення швидкості точки S_2 , що умовно належить до шатуна 2:

$$\begin{cases} \vec{V}_{S_2} = \vec{V}_B + \vec{V}_{S_2;B} = \vec{V}_D + \vec{V}_{B;D} + \vec{V}_{S_2;B} \\ \vec{V}_{S_2} = \vec{V}_C + \vec{V}_{S_2;C} = \vec{V}_E + \vec{V}_{C;E} + \vec{V}_{S_2;C} \end{cases} \quad (1)$$

Розв'язуємо систему рівнянь та визначаємо на плані вектор швидкості \vec{P}_{S_2} , який за допомогою паралельного переносу будуюмо в точці S_2 плану положення механізму. За відомими напрямками векторів швидкостей \vec{V}_{S_2}, \vec{V}_A двох точок S_2 та А шатуна 2 визначаємо положення М.Ц.Ш. ланки 2 (точка P_2), як точки перетину перпендикулярів до векторів \vec{V}_{S_2}, \vec{V}_A , що побудовано з, відповідно, точок S_2, A .

Використовуємо умову належності точок P_2, A, B, C до однієї ланки 2, що має плоскопаралельний рух та те, що положення точки P_2 знайдено для визначення напрямків векторів швидкостей \vec{V}_B, \vec{V}_C точок B,C. Вектори \vec{V}_B, \vec{V}_C спрямовуються вздовж перпендикулярів до, відповідно, відрізків P_2B та P_2C за напрямком миттєвої обертальної кутової швидкості шатуна 2. Згідно з теоремою про визначення швидкостей точок тіла, що має плоскопаралельний рух довжини векторів швидкостей на плані будуть пропорційними до відповідних відстаней цих точок до положення М.Ц.Ш. ланки.

Складаємо систему векторних рівнянь, яка дозволяє визначити довжини векторів \vec{V}_C, \vec{V}_B на плані швидкостей за умови побудованих векторів швидкостей точок E та D:

$$\begin{cases} \vec{V}_C = \vec{V}_E + \vec{V}_{C;E} & \vec{V}_B = \vec{V}_D + \vec{V}_{B;D} \\ \vec{V}_C \perp P_2C & \vec{V}_B \perp P_2B \end{cases}, \quad (2)$$

де $\vec{V}_{C;E} \perp CE, \vec{V}_{B;D} \perp BD$.

Подальший розв'язок полягає в тому, щоб підібрати довжину вектора \vec{V}_A швидкості точки А такою, яка задовольняла би умові довільно прийнятої величини кутової швидкості шатуна 5. За напрямком швидкість $\vec{V}_A \perp OA$ спрямована в бік спрямування заданої кутової швидкості ω_1 дійсної ведучої ланки 1 механізму, а лінією можливих дійсних положень точки «а» на плані є лінія, що проведена через полюс Р в напрямку перпендикулярному до осьової лінії ланки ОА. З іншого боку для визначення положення точки «а» на плані складаємо систему векторних рівнянь:

$$\begin{cases} \vec{V}_A = \vec{V}_C + \vec{V}_{A;C} \\ \vec{V}_A = \vec{V}_B + \vec{V}_{A;B} \end{cases} \quad (3)$$

де $\vec{V}_{A;C} \perp AC, \vec{V}_{A;B} \perp BA$.

Розв'язуємо систему рівнянь (3) та знаходимо вектор $\vec{P}a$, точка «a» якого знаходиться на лінії, що проходить через полюс плану швидкостей P та є перпендикулярною до кривошипа OA в напрямку кутової швидкості ω_1 , що є підтвердженням правильності розв'язання задачі.

Отриманий план швидкостей сприймаємо як графічну побудову де вектори лінійних швидкостей точок механізму четвертого класу другого порядку побудовані з полюсу в невизначеному масштабі, який за умов заданих розмірів ланок та кутової швидкості дійсної ведучої ланки розрахувати не складає труднощів.

Зауважимо, що на відмінність від відомого метода помилкових положень, який застосовується для аналогічних досліджень структурних груп третього класу та вимагає після отримання дійсної швидкості однієї точки складної ланки структурної групи перебудовувати план для визначення дійсних швидкостей всіх інших точок механізму запропонована послідовність кінематичного аналізу дозволяє дослідити механізми четвертого класу без необхідності перебудовувати план, який був побудований в невизначеному масштабі, а дозволяє підібрати довжину вектора лінійної швидкості точки A кривошипу з подальшим розрахунком дійсного масштабного параметру виконаної графічної побудови.

Висновки

Виконано кінематичне дослідження швидкостей точок механізму четвертого класу на основі структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомих замкнених контуром, утворених трьома шатунами та коромислом, що базується на положеннях про миттєвий центр швидкостей та властивості механізмів змінювати клас за умови обрання іншого початкового механізму, що дозволило зменшити об'єми графічних побудов дослідження. Можна рекомендувати запропоновану послідовність кінематичного аналізу для проведення аналогічних досліджень механізмів четвертого та вище класів.

Література

1. Пат. 2303699. Российская федерация. Секция механизированной крепи / Дворников Л.Т., Князев А.С., Стариков С.П. – Оpubл. 27.07.2007.
2. Пат. 2332260. Российская федерация. Двухщечковая дробильная машина / Дворников Л.Т., Стариков С.П. – Оpubл. 27.08.2008.
3. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой / Д.О. Чашников, В.В. Гаряшин // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 231–232.
4. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой аналитическим методом / Д.О. Чашников, В.В. Гаряшин // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 158–159.
5. Сункуев Б.С. Расчет и конструирование исполнительных механизмов машин : учебное пособие / Б.С. Сункуев. – Витебск : ВГТУ, 2003. – 115 с.
6. Орловський Б. В. Енциклопедія швейного виробництва : навчальний посібник / Б. В. Орловський, Г. Д. Заховавко. – Київ : «Самміт-книга», 2010. – 968 с.
7. Франц В. Я. Оборудование швейного производства : учебное пособие / В. Я. Франц. – М. : Издательский центр «Академия», 2002. – 448 с.
8. Конвал В.П. Універсальний довідник взуттєвика : навчальний посібник / В.П. Конвал, С.С. Гаркавенко, Л.Т. Свістунова. – К. : Лібра, 2005. – 720 с.
9. Сторожев В. В. Машины и аппараты легкой промышленности / В. В. Сторожев. – М. : «Академия», 2010. – 400 с.
10. Кошель С.О. Структурний аналіз складних плоских механізмів четвертого класу / С.О. Кошель, Г.В. Кошель // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 72–79.

Рецензія/Peer review : 28.1.2017 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.