

УДК 621.9.06

Д.О. Дмитрієв, Г.В. Рудакова, С.А. Русанов, Д.Д. Федорчук

МОДЕЛЮВАННЯ І КЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВИМИ СИСТЕМАМИ ПРИВОДІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ У МАШИНОБУДУВАННІ

Анотація. Проведено аналіз плоских механізмів з замкнутими кінематичними ланцюгами із застосуванням процедури побудови планів векторів швидкостей. Виведено аналітичні залежності для шуканої швидкості вихідної ланки установки з просторовими системами приводів, показано області рішень з метою встановлення параметричних зв'язків кінематики з геометрією компоновання з направляючими, які перетинаються в просторі. Ґрунтуючись на отриманих виразах, розроблене програмне забезпечення TAngle для визначення швидкостей вихідної ланки.

Ключові слова: моделювання, TAngle, просторова система приводів, багатогоординатні механізми, аналіз динаміки, спеціалізоване програмне забезпечення.

Вступ

Просторові системи приводів з паралельними кінематичними структурами є основою для сучасного технологічного обладнання. Побудова такого обладнання дозволяє якісно змінити уявлення про верстат і його кінематичну структуру, дозволяючи створювати верстати-роботи з більш широкими кінематичними, динамічними і технологічними можливостями [1, 2].

Просторові системи приводів найбільш ефективні для вирішення екстремальних задач маніпулювання об'єктами машинобудування (робота в обмежених об'ємах, механізації важких робіт, пакування токсичних матеріалів та ін.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження, насамперед, базується на методах побудови планів основних кінематичних параметрів та надає можливість визначати по-

трібні конструктивні і швидкісні параметри приводів на стадії проектування в ракурсі рішення прямої задачі кінематики [3].

Ґрунтуючись на розв'язанні прямої задачі кінематики, можна дати оцінку граничним можливостям переміщення площини з робочим органом. Для аналізу динаміки (можливих швидкостей переміщення елементів каркасної установки), доцільно застосовувати графоаналітичний метод [2].

Приклади побудови планів швидкостей ланок механізмів паралельної структури (МПС) і визначення вектору швидкості вихідної ланки \vec{V}_k для різних випадків співвідношення та напрямку \vec{V}_A і \vec{V}_B розглянуто в роботі [4]. Такі МПС з двома координатами стали традиційними у виробництві маніпуляторів та 3D-принтерів з паралельними напрямними, замкненим кінематичним ланцюгом і приводними каретками А і В [1, 3].

Побудова планів імовірних швидкостей має відповідати векторним рівнянням:

$$\begin{aligned} \vec{V}_K &= \vec{V}_B + \vec{V}_{BK}; \quad \vec{V}_K = \vec{V}_A + \vec{V}_{AK}; \quad \vec{V}_A + \vec{V}_{AK} = \vec{V}_B + \vec{V}_{BK}; \\ \vec{V}_A &\parallel \alpha - \alpha; \quad \vec{V}_{AK} \perp l_{AK}; \quad \vec{V}_B \parallel \beta - \beta; \quad \vec{V}_{BK} \perp l_{BK}. \end{aligned} \quad (1)$$

Пряму задачу кінематики з відповідними векторами \vec{V}_A і \vec{V}_B можна вирішити у наступній послідовності:

$$\begin{aligned} &1) \vec{V}_A \rightarrow \vec{V}_{AK}; \quad 2) \vec{V}_B \rightarrow \vec{V}_{BK}; \\ &3) \vec{V}_{AK} \cup \vec{V}_{BK}; \quad 4) p \rightarrow \vec{V}_{AK} \cup \vec{V}_{BK} = \vec{V}_K. \end{aligned} \quad (2)$$

При розв'язуванні зворотної задачі кінематики шуканими параметрами є \vec{V}_A і \vec{V}_B , а заданими \vec{V}_K , а побудова здійснюється за алгоритмом у зворотній послідовності.

Постановка завдання

Метою досліджень є визначення розрахункових процедур і засобів забезпечення законів переміщення ланок та стратегії керування для відтворення складних рухів багатокординатних механізмів з приводами просторової конструкції шляхом комп'ютерного моделювання.

Основна частина

Можливі декілька варіантів комбінацій векторів \vec{V}_A і \vec{V}_B та їх співвідношень за модулем (рис. 1). В промислових умовах інженер повинен мати увесь діапазон рішень без втрат часу на відтворення планів швидкостей графічно. Зв'язок параметру кута нахилу штанг δ_1 і δ_2 із швидкістю встановлюється як (рис. 1, а):

1. Випадок $\vec{V}_A \downarrow \downarrow \vec{V}_B$ (див. рис. 1, б):

$$V_{AK} = \frac{\sin(90 - \delta_2) \cdot (V_A - V_B)}{\sin(90 - \delta_1) \cdot \cos(90 - \delta_2) + \cos(90 - \delta_1) \cdot \sin(90 - \delta_2)},$$

$$V_{BK} = \frac{\sin(90 - \delta_1) \cdot (V_A - V_B)}{\sin(90 - \delta_1) \cdot \cos(90 - \delta_2) + \cos(90 - \delta_1) \cdot \sin(90 - \delta_2)}.$$
(3)

2. Випадок $\vec{V}_A \downarrow \uparrow \vec{V}_B$ (див. рис. 1, в):

$$V_{AK} = \frac{\sin(90 - \delta_2) \cdot (V_A + V_B)}{\sin(90 - \delta_1) \cdot \cos(90 - \delta_2) + \cos(90 - \delta_1) \cdot \sin(90 - \delta_2)},$$

$$V_{BK} = \frac{\sin(90 - \delta_1) \cdot (V_A + V_B)}{\sin(90 - \delta_1) \cdot \cos(90 - \delta_2) + \cos(90 - \delta_1) \cdot \sin(90 - \delta_2)}.$$
(4)

Розрахункову схему для визначення швидкості переміщення робочого органу \vec{V}_K показано на рис. 1.

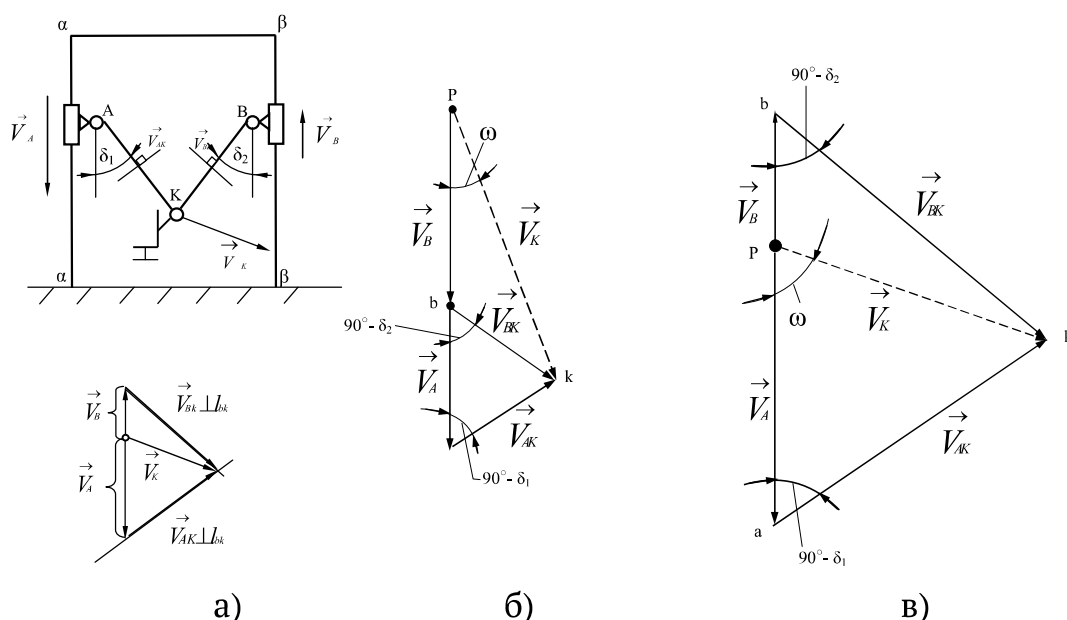


Рисунок 1 – Розрахункова схема (а) для визначення швидкості V_K вихідної ланки (робочого органу) б) – для випадку $\vec{V}_A \downarrow \downarrow \vec{V}_B$, в) – для випадку $\vec{V}_A \downarrow \uparrow \vec{V}_B$

Швидкість точки K вихідної ланки встановлюється як

$$V_K = \sqrt{\left(V_B \frac{\cos(\delta_1)(V_A - V_B) \cdot \sin(\delta_2)}{\cos(\delta_1)\sin(\delta_2) + \sin(\delta_1)\cos(\delta_2)} \right)^2 + \frac{\cos(\delta_1)^2 (V_A - V_B)^2 \cdot \sin(\delta_2)^2}{\cos(\delta_1)\sin(\delta_2) + \sin(\delta_1)\cos(\delta_2)}} \quad (5)$$

Кут вектору \vec{V}_K з вертикальною віссю згідно рис. 3 визначається як

$$\omega = \arcsin\left(\frac{\cos(\delta_2)(V_A - V_B) \cdot \cos(\delta_1)}{(\cos(\delta_1)\sin(\delta_2) + \sin(\delta_1)\cos(\delta_2)) \cdot V_A} \right). \quad (6)$$

При конструюванні обладнання з МПС застосовуються установки з непаралельними прямими, які з'єднані під різними кутами θ . Також згідно з векторних рівнянь, застосовують метод побудови планів швидкостей ланок. Результати обчислень областей рішень швидкості V_K та кута нахилу векторів за рівнянням (5) при значенні векторів швидкостей в діапазоні відхилень $\vec{V}_A - \vec{V}_B \in \{0, 20, 40, 60\}$ мм, наведено на рис. 2.

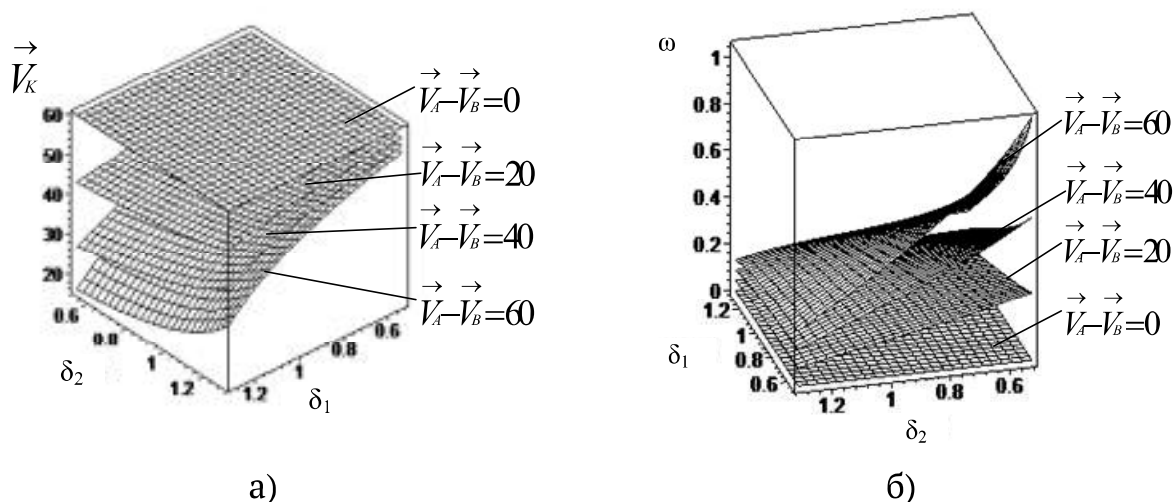


Рисунок 2 – Область обчислених рішень для значень:
а) швидкості V_K ; б) кута ω нахилу вектора швидкості V_K

На рис. 3 наведено плани для визначення швидкостей графоаналітичним методом для непаралельних напрямних просторових приводів.

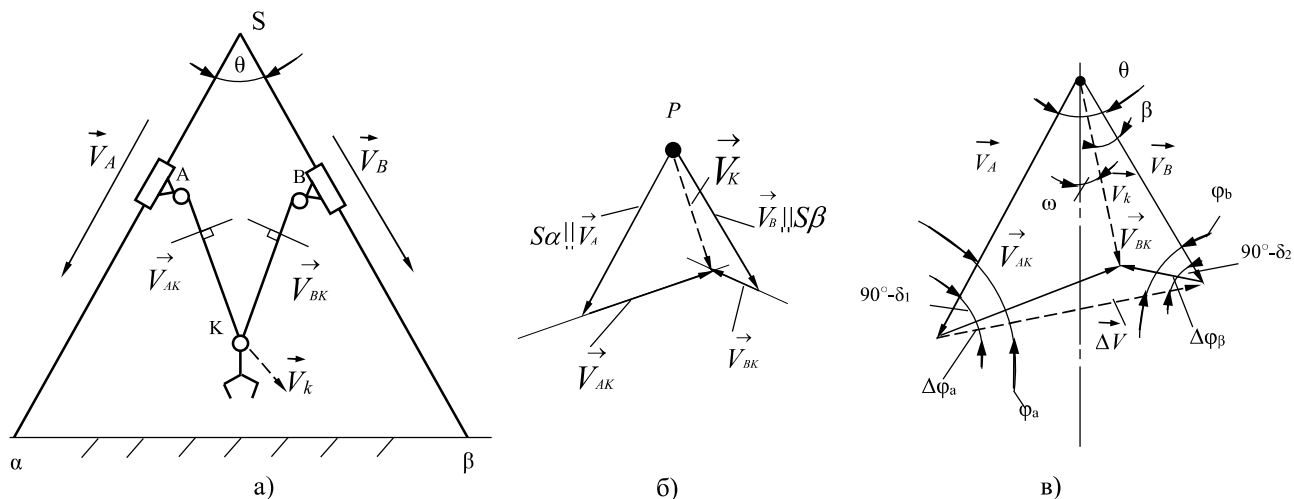


Рисунок 3 – Приклад застосування графоаналітичного методу планів для визначення швидкостей: а) кінематична схема механізму; б) план швидкостей; в) розрахункова схема для визначення швидкості V_K

Швидкість \vec{V}_K вихідної ланки для схеми на рис. 3 плоского двокоординатного МПС і кут ω вектора швидкості з вертикальною віссю з напрямними з нахилом під кутом θ при вершині визначається як

$$V_K = \sqrt{V_A^2 + V_{AK}^2 - 2V_A \cdot V_{AK} \cdot \cos(90 - \delta_1)}, \quad (7)$$

$$\omega = \frac{\theta}{2} - \beta, \quad \beta = \arcsin\left(\frac{V_B}{V_K} \sin(90 - \delta_2)\right) + \delta_2 - 90. \quad (8)$$

Розрахунок за рівняннями (7) і (8) для кута $\theta=30^\circ$ при вершині МПС та значенні $\vec{V}_B = 20$ мм/с в діапазонах δ_1 і δ_2 і $\vec{V}_A = 0, 20, 40, 60$ мм/с наведено на рис. 4.

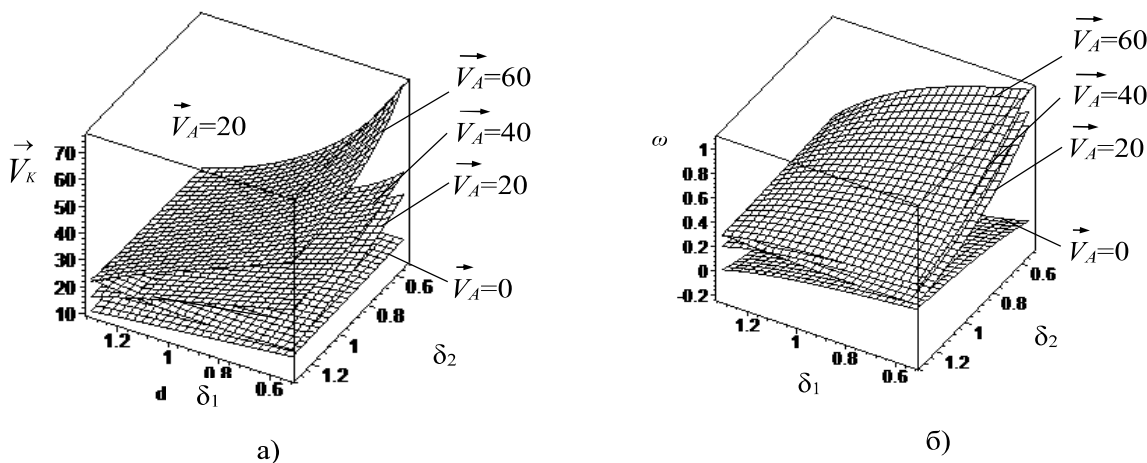


Рисунок 4 – Приклад застосування графоаналітичного методу планів: а) при визначенні швидкостей, б) при визначенні кутів

На основі отриманих виразів та залежностей було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення TAngle (рис. 5), яке дозволяє здійснювати аналіз кінематичних параметрів каркасної установки з МПС, що проектується [5].

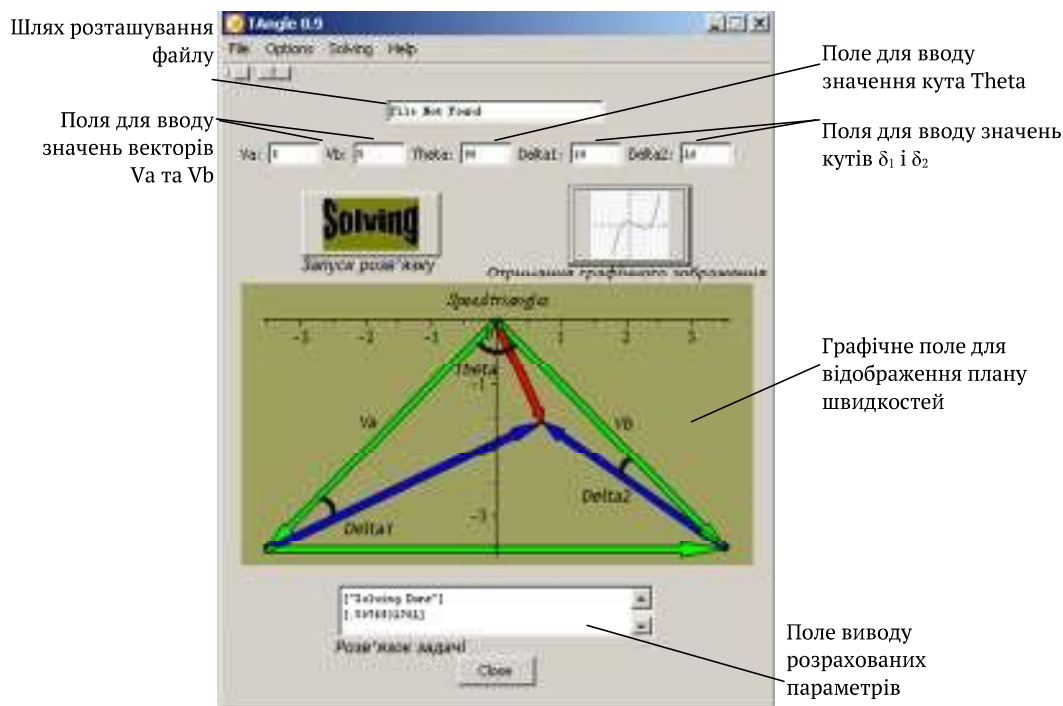


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд робочого вікна програми TAngle [6]

Дана програма розв'язує пряму задачу кінематики, де задаються параметри векторів V_A і V_B , а також значення кутів δ_1 і δ_2 . TAngle графічно відтворює план зв'язку швидкостей та кутів нахилу штанг установки з МПС, та показує, положення робочого органу при заданих параметрах.

Висновки

Розглянуто розв'язок зворотної і прямої задач кінематики для забезпечення швидкості та управління складним рухом шарнірно-стрижневих механізмів. Створено моделі і алгоритми, які в поєднанні з апаратно-технічним забезпеченням керування просторовою шарнірно-стрижневою механічною системою, на прикладі, автоматизованого пристрою технологічного призначення, дозволяють виконувати проектування компоновочних схем просторової системи приводів для відповідних задач маніпулювання об'єктами у просторі та швидко перебудувати або переналагодити елементи системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.М. Компонировки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич; під ред. Ю.М. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
2. Струтинський С.В. Експериментальне визначення динамічних характеристик та побудова на їх основі математичної моделі просторової системи приводів / С.В. Струтинський, А.А. Гуржій // Технологічні комплекси», № 1(7), 2013. - С. 10-18.
3. Дмитрієв Д.О. Застосування графоаналітичного методу для аналізу кінематики механізмів паралельної структури і викладання дисципліни теорія механізмів і машин / Д.О. Дмитрієв, С.А. Русанов, О.О. Сафьяник // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу», випуск 3. – Херсон: ХНТУ, 2017. - С. 67-71
4. Омельчук А.А. Математичне і програмно-апаратне забезпечення тренажерної установки з просторовими приводами руху / А.А. Омельчук, О.О. Сафьяник, І.С. Березкін, П.М. Павлов//Системні технології. - 2018. - Вип. 3. - С. 64-71.
5. Рудакова Г.В. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення для проектування каркасних установок з механізмами паралельної структури / Г.В. Рудакова, С.А. Русанов, С.В. Ревенко // Вісник Херсонського національного технічного університету. Вип. 4(63). – Херсон: ХНТУ, 2017. - С. 38-43.
6. Русанов С.А., Дмитрієв Д.О., Омельчук А.А. Комп'ютерна програма «TAngle» - Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №76042 від 19.01.2018.

REFERENCES

1. Strutynskiy S.V. Eksperymentalne vyznachennia dynamichnykh kharakterystyk ta pobudova na yikh osnovi matematychnoi modeli prostоровoi systemy pryvodiv / S.V. Strutynskiy, A.A. Hurzhii // Tekhnolohichni kompleksi», № 1(7), 2013.-P.10-18.
2. Kuznietsov Yu.M. Komponovky verstativ z mekhanizmany paralelnoi struktury: Monohrafiia / Yu.M. Kuznietsov, D.O. Dmytriiev, H.Iu. Dinevych; pid red. Yu.M. Kuznietsova. – Kherson: PP Vyshemyrskiy V.S., 2009. – 456 p.
3. Dmytriiev D.O. Zastosuvannia hrafoanalitichnoho metodu dlia analizu kinematyky mekhanizmiv paralelnoi struktury i vykladannia dystsypliny teoriia mekhanizmiv i mashyn / D.O. Dmytriiev, S.A. Rusanov, O.O. Safianyuk // Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnolohii promyslovoho kompleksu», №3. – Kherson: KhNTU, 2017. - P. 67-71.

4. Omelchuk A.A. Matematychnе i prohramno-aparatne zabezpechennia trenazhernoї ustanovky z prostоровymy pryvodamy rukhu / A.A. Omelchuk, O.O. Safianyk, I.S. Berezkin, P.M. Pavlov // Systemni tekhnolohii. - 2018. - №3. - P. 64-71.

5. Rudakova H.V. Rozrobka spetsializovanoho prohramnoho zabezpechennia dlia proektuvannia karkasnykh ustanovok z mekhanizmamy paralelnoi struktury / H.V. Rudakova, S.A. Rusanov, S.V. Revenko // Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. №4(63). – Kherson: KhNTU, 2017. - P. 38-43.

6. Rusanov S.A., Dmytriiev D.O., Omelchuk A.A. Kompiuterna prohrama «Tangle» - Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №76042 vid 19.01.2018.