

УДК 62-231:621.9.04

ОСОБЛИВІ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Кириченко А.М., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України „КПІ”

03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37, корп. 1, Україна

andrew.kirichenko@gmail.com

Зайка С.М., асп.

Кіровоградський національний технічний університет

25006, м. Кіровоград, проспект Університетський, 8, Україна

borodavichus@gmail.com

Федотьев А.М., к.т.н., доц.

Кременчуцький державний університет ім. Михайла Остроградського

39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20, Україна

fan450@yandex.ru

У статті розглянуті можливі випадки виникнення особливих положень у плоских механізмів паралельної структури „лямбда” і „біглайд”. Установлено фактори, що служать причиною виникнення особливих положень у даного типу механізмів, що дасть можливість уникнути їхньої появи.

Ключові слова: паралельна структура, особливі положення, матриця Якоби, „лямбда”, „біглайд”.

Вступ. Створення технологічного обладнання на основі механізмів паралельної структури є одним з найбільш перспективних напрямків світового верстатобудування. Таке обладнання, маючи технічні характеристики, які практично неможливо реалізувати у верстатах з традиційною кінематикою – максимальна швидкість робочого органу досягає 180 м/хв при прискоренні до 3g, спроможне вирішити більшість технологічних задач, які ставляться сучасним багатомоноклатурним серійним виробництвом [1].

Аналіз попередніх досліджень. Серед технологічного обладнання з паралельною кінематикою широко розповсюдження знайшли верстати з комбінованою кінематичною структурою, в яких механізм паралельної структури поєднується з одною або кількома звичайними осями координат, що дозволяє об'єднати переваги та компенсувати недоліки верстатів з традиційною й паралельною кінематикою.

У трьохкоординатних верстатах з комбінованою кінематикою рух інструмента може забезпечуватись двохкоординатним механізмом паралельної структури, сполученим з лінійним приводом шпинделя або столу. Існує також варіант використання в комбінованій конструкції для приводу третьої координати оригінального механізму [2], що значно покращує диманічні характеристики обладнання. Верстати з двохкоординатними механізмами паралельної структури мають відносно просту конструкцію і в той же час – високі технічні характеристики за рахунок високої жорсткості та можливості одержання робочої зони необмеженої довжини.

Питанням аналізу структури та кінематики механізмів паралельної структури присвячені численні праці [4-5], якими встановлені методи одержання прямих та зворотних кінематичних залежностей механізмів паралельної кінематичної структури.

Однак, не менш важливим моментом при дослідженні механізмів паралельної структури на ряду з

вищеперерахованими є врахування їхніх особливих положень, які сприяють порушенню структури механізму, що передбачені функціонуванням. Деякі дослідники звертали свою увагу на особливі положення багатокоординатних механізмів таких, як гексапод, гексалайд тощо [7]. Проблема ж особливих положень малокоординатних плоских механізмів паралельної структури майже не розкрито. Окремі спроби здійснені румунськими дослідниками [6], які розглядали особливі положення механізму „біглайд”.

Одним з перспективних механізмів паралельної структури є механізм „лямбда” [2], використання якого у верстаті з комбінованою кінематикою дає ряд конструктивних переваг по відношенню до механізму „біглайд”, зокрема зменшення кількості напрямних, вільний доступ до робочої зони верстата тощо.

Мета роботи. Необхідно розглянути всі можливі особливі положення зазначених механізмів та визначити умови їх виникнення. Це дасть можливість в подальшому покращити якість функціонування механізмів та керувати системою таким чином, щоб запобігти потраплянню механізму в особливе положення.

Матеріал і результати дослідження. Особливі положення (або сингулярність). Розрізняють два види особливих положень, один з яких пов'язаний зі зникненням деяких ступенів вільності (послідовна сингулярність), а інший – з появою некерованої рухомості (паралельна сингулярність). При цьому, послідовна сингулярність призводить до неможливості переміщення, а паралельна порушує визначеність руху.

Особливі положення можуть з'являтися всередині робочого простору і на його границях. Для механізмів з незамкнутими кінематичними ланцюгами має місце особливе положення першого

типу, що характеризується виродженням матриці Якобі, яка представляє собою відношення похідних швидкостей приводів до зміни координат положення робочого органа:

$$J = \begin{pmatrix} \frac{d}{dx} q_1(x, y) & \frac{d}{dy} q_1(x, y) \\ \frac{d}{dx} q_2(x, y) & \frac{d}{dy} q_2(x, y) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

Звідси:

$$|J| = \frac{d}{dx} q_1(x, y) \cdot \frac{d}{dy} q_2(x, y) - \frac{d}{dx} q_2(x, y) \cdot \frac{d}{dy} q_1(x, y), \quad (2)$$

де $q_1(x, y)$ та $q_2(x, y)$ – величини переміщень приводів, розраховані при кінематичному аналізі механізмів.

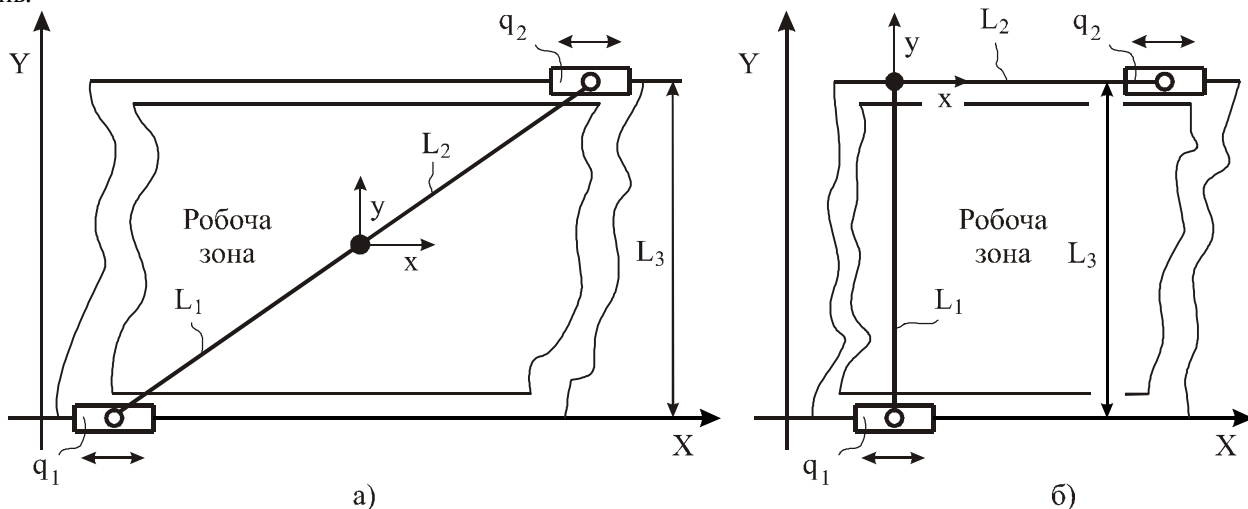


Рисунок 1 – Особливі положення плоского механізму паралельної структури „біглайд”
а) послідовна сингулярність; б) паралельна сингулярність

Для механізму паралельної структури „біглайд”, положення повзунів визначаються за формулами:

$$q_1(x, y) = x \pm L_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{L_1^2}}, \quad (3)$$

$$q_2(x, y) = x \pm L_2 \cdot \sqrt{1 - \frac{(L_3 - y)^2}{L_2^2}}, \quad (4)$$

де x та y – координати положення виконавчого органа, мм; L_1 ; L_2 ; L_3 – геометричні параметри механізму, мм; q_1 та q_2 – положення повзунів, мм.

Похідні від величин переміщень приводів повзунів матимуть вигляд:

$$\frac{d}{dx} q_1(x, y) = 1, \quad (5)$$

$$\frac{d}{dx} q_2(x, y) = 1, \quad (6)$$

$$\frac{d}{dy} q_1(x, y) = \pm \frac{y}{L_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{L_1^2}}}, \quad (7)$$

$$\frac{d}{dy} q_2(x, y) = \pm \frac{2 \cdot L_3 - 2 \cdot y}{2 \cdot L_2 \cdot \sqrt{1 - \frac{(L_3 - y)^2}{L_2^2}}}, \quad (8)$$

Підставивши у формулу (2) залежності (5 – 8), отримаємо:

Механізми з замкнутими кінематичними ланцюгами володіють особливим положенням другого типу[3].

На (рис. 1, а), зображено випадок послідовної сингулярності, тобто першого типу особливих положень для механізму „біглайд”, при якому механізм позбавляється деяких ступенів вільності і втрачає здатність переміщення. В даному випадку, виконавчий орган знаходиться всередині робочої зони, тобто відомі координати положення виконавчого органа та геометричні параметри механізму, а значить можна визначити положення повзунів.

$$|J| = \pm \frac{2 \cdot L_3 - 2 \cdot y}{2 \cdot L_2 \cdot \sqrt{1 - \frac{(L_3 - y)^2}{L_2^2}}} \pm \frac{y}{L_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{L_1^2}}}, \quad (9)$$

Втрата керованості та визначеності руху, спостерігається в даного механізму на (рис. 1, б), що притаманне паралельній сингулярності (особливому положенню другого типу), яка виникає за умови, коли $L_1 = L_2 = L_3$. При цьому, виконавчий орган знаходиться на краю робочої зони, а визначник матриці Якобі буде прямувати до нескінченності.

На (рис. 2), показано графік залежності визначника матриці Якобі від переміщення виконавчого органа по координаті Y , та зображено, які саме особливі положення виникають на границях робочої зони та в її середині.

Так, послідовну сингулярність можна спостерігати на (рис. 2) під поз. 1. В подальшому, при фіксованому положенні повзуна q_2 та переміщенні повзуна q_1 , виконавчий орган переміщується вздовж осі Y до центру робочої зони, в результаті чого механізм отримує паралельну сингулярність (поз. 2). Якщо в цій позиції почати переміщувати повзун q_2 , а повзун q_1 залишити у фіксованому положенні, то на протилежному краю робочої зони знову виникне послідовна сингулярність

(поз. 3). Відповідним чином змінюється і величина визначника матриці Якобі, на краях робочої зони він прямує до нескінченності, а всередині близький до 1 (суцільна крива).

Крива, що зображена пунктирною лінією є симетричною до суцільної і особливі положення, які виникають всередині робочої зони та на краях, отримуються при відповідних положеннях приводів повзунів. А саме, особливе положення під поз. 4, можна

спостерігати при одночасному різнонаправленому переміщенні приводів при виході механізму з положення, вказаному під поз. 3.

Таким чином, налічується 6 можливих випадків, коли плоский механізм паралельної структури „біглайд” буде мати сингулярність, двічі – паралельну (всередині робочої зони), та 4 рази – послідовну, яка виникає на краях робочої зони.

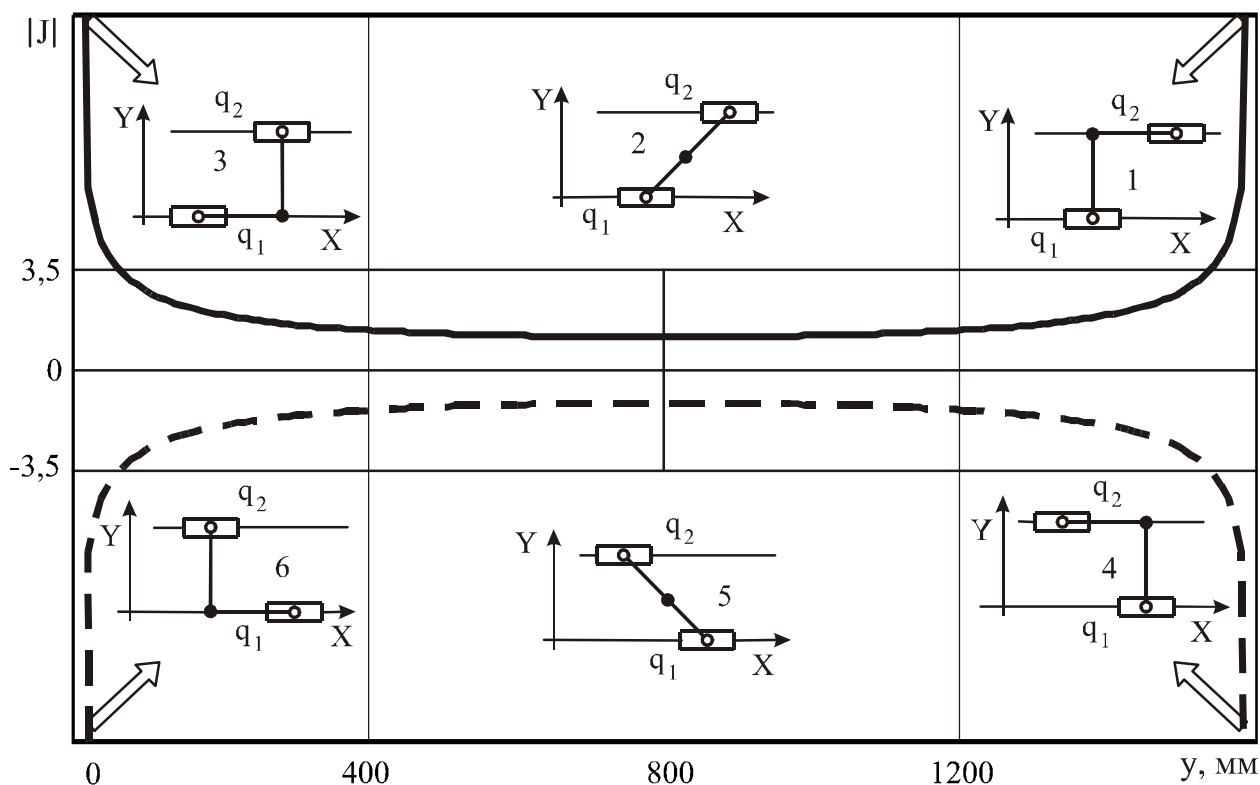


Рисунок 2 – Залежність визначника матриці Якобі від переміщення виконавчого органа по координаті Y для механізму „біглайд”

На відміну від плоского механізму паралельної структури „біглайд”, який може мати особливі положення на краях робочої зони та в її середині, в механізмі „лямбда” сингулярність спостерігається лише на краях робочої зони (рис. 3).

Як і у випадку з механізмом „біглайд”, необхідно визначити похідні від положень приводів повзунів для механізму „лямбда”, при відомих координатах положення виконавчого органа та геометричних параметрах механізму.

Положення повзунів визначаються за формулами:

$$q_1(x, y) = x - \sqrt{L_1^2 - y^2}, \quad (10)$$

$$q_2(x, y) = L_3 \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{L_1^2}} + q_1(x, y) + \frac{L_3 \cdot y}{L_1}, \quad (11)$$

де x та y – координати положення виконавчого органа, мм; L_1 ; L_2 ; L_3 – геометричні параметри механізму, мм; q_1 та q_2 – положення повзунів, мм.

Похідні від величин переміщень приводів повзунів матимуть вигляд:

$$\frac{d}{dx} q_1(x, y) = 1, \quad (12)$$

$$\frac{d}{dx} q_2(x, y) = 1, \quad (13)$$

$$\frac{d}{dy} q_1(x, y) = \frac{y}{\sqrt{L_1^2 - y^2}}, \quad (14)$$

$$\frac{d}{dy} q_2(x, y) = \frac{y}{\sqrt{L_1^2 - y^2}} + \frac{L_3}{L_1} - \frac{L_3 \cdot y}{L_1^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{L_1^2}}}, \quad (15)$$

Підставивши у формулу (2) залежності (10 – 15), отримаємо:

$$|J| = \left[\frac{y}{\sqrt{L_1^2 - y^2}} + \frac{L_3}{L_1} - \frac{L_3 \cdot y}{L_1^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{L_1^2}}} \right] - \left[\frac{y}{\sqrt{L_1^2 - y^2}} \right], \quad (16)$$

На (рис. 3, а) зображено випадок, коли через відповідне відношення довжин ланок, а саме $L_2 > L_3$, механізм втрачає керованість та визначе-

ність руху через те, що при нескінченно великій швидкості переміщення привода повзуна q_2 , виконавчий орган матиме нескінченно малу швидкість переміщення (паралельна сингулярність). На (рис. 3, б) показано, як за умови $L_2 < L_3$, в аналогічній ситуації знаходиться привід повзуна q_1 . Третій випадок паралельної сингулярності спостерігається за

умови $L_2 = L_3$ (рис. 3, г), при цьому повзуни q_1 та q_2 розташовуються один над одним і механізм втрачає визначеність руху.

Послідовна сингулярність плоского механізму паралельної структури „лямбда” показана на (рис. 3, в). Механізм втрачає деякі ступені вільності, що призводить до неможливості переміщення,

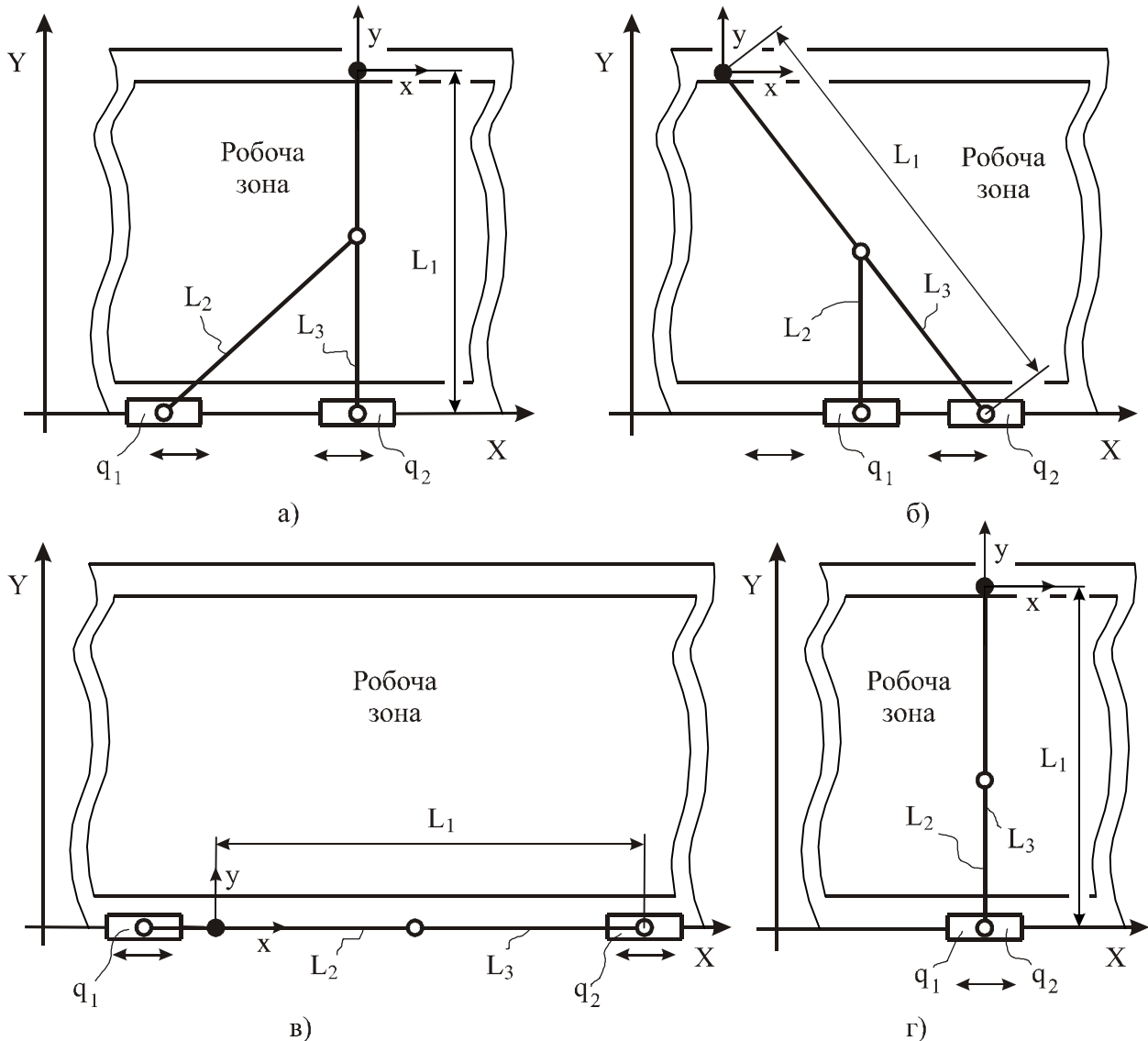


Рисунок 3 – Особливі положення плоского механізму паралельної структури „лямбда”

а) паралельна сингулярність при $L_2 > L_3$; б) паралельна сингулярність при $L_2 < L_3$;

в) послідовна сингулярність; г) паралельна сингулярність при $L_2 = L_3$

при цьому виконавчий орган знаходиться на одній вісі з осями переміщення повзунів, а відношення довжин ланок не має істотного значення.

На (рис. 4) показано графік залежності визначника матриці Якобі від переміщення виконавчого органа по координаті Y , та зображено, які саме

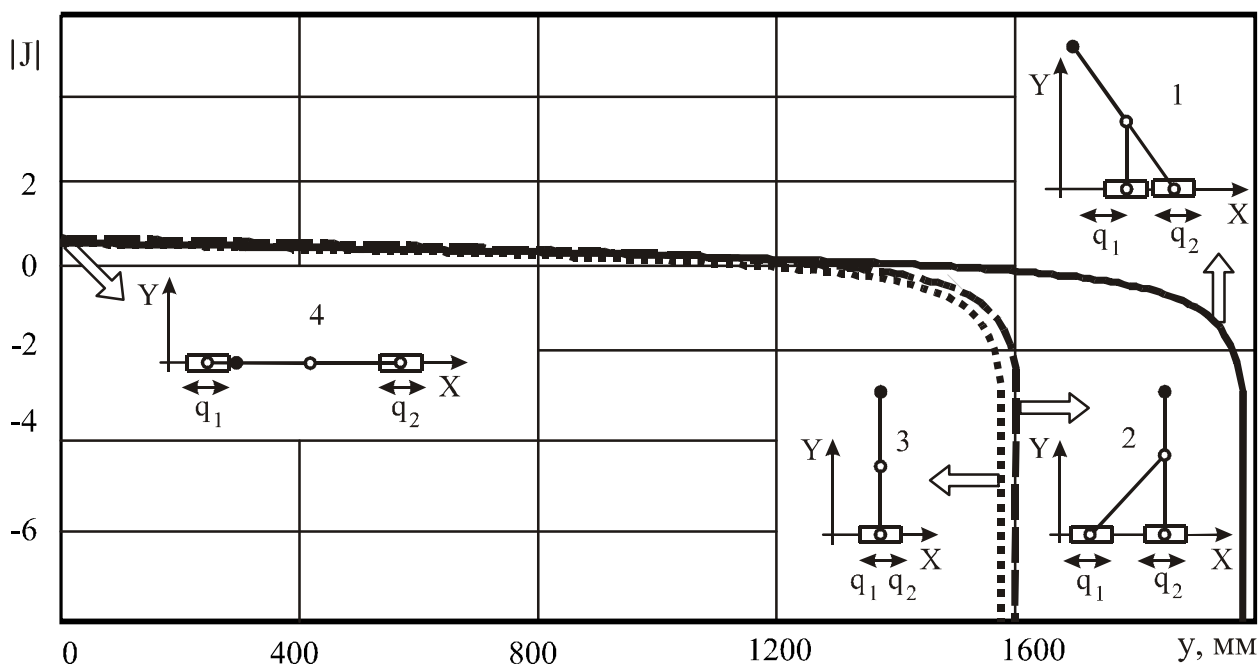


Рисунок 4 – Залежність визначника матриці Якобі від переміщення виконавчого органа по координаті Y для механізму „лямбда”

особливі положення виникають на границях робочої зони. Суцільною лінією зображено криву, яка відповідає умові $L_2 > L_3$, штриховій лінії – умова $L_2 < L_3$, а пунктирній – умова $L_2 = L_3$, кожній з цих умов притаманна паралельна сингулярність, відповідно схеми під поз. 1, 2 та 3. Паралельна сингулярність виникає на протилежному боці робочої зони і не залежить від співвідношення довжин ланок механізму.

Таким чином, механізм „лямбда” налічує менше випадків сингулярних конфігурацій, ніж механізм „біглайд”.

Висновки:

1) Отримано залежності, які підтверджують сингулярність плоских механізмів паралельної структури „лямбда” та „біглайд”.

2) Встановлено, що механізм „біглайд” має особливі положення, як в середині робочої зони, так і на її границях, а механізм „лямбда” лише на границях робочої зони.

3) Отримані результати, дозволили окреслити напрямки подальших досліджень, зокрема: необхідність вдосконалення конструкцій механізмів та підбору раціональних параметрів кінематичних ланок з метою зменшення можливих варіантів сингулярності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Потапов В.А. Станки с параллельной кинематикой на выставке ЕМО-2001: концепции, реальность и перспективы // Приводная техника. – 2002. – № 2. – С. 50-57.

2. Верстат: Патент на корисну модель №27361 України / А.М. Кириченко, В.М. Пестунов, С.М. Заїка (Україна). – Заявл. 25.06.2007; Опубл. 25.10.2007, Бюл. №17. – 2 с.

3. Есина М.Г. Кинематический и силовой анализ плоских механизмов параллельной структуры с учетом особах положений и алгоритмов управления: дис. ... канд. техн. наук. 05.02.18. – М.: РГБ, 2005. – 167 с.

4. Обработка нового поколения / Под ред. В.Л. Афонина. – М.: Машиностроение, 2001. – 256 с.

5. Кириченко А.М. Дослідження кінематики трьохкоординатного верстата з комбінованою структурою / А.М. Кириченко, С.М. Заїка, Л.В. Ленченко // Зб. наук. праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2008. – № 20. – С. 118-124.

6. Sergiu-Dan Stan. Optimal Design of Parallel Kinematics Machines with 2 Degrees of Freedom / Sergiu-Dan Stan, Vistrian Mătieș, Radu Bălan // Parallel Manipulators, Towards New Applications, Book edited by: Huapeng Wu, ISBN 978-3-902613-40-0, pp. 506, April 2008, I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria.

7. J.-P. MERLET. Parallel Robots / J.-P. MERLET. —2nd ed.p. cm // Published by Springer, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, 200

Стаття надійшла 15.12.2009 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Драгобецьким В.В.

ОСОБЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПЛОСКИХ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Кириченко А.Н., к.т.н., доц.

Национальный технический университет Украины „КПИ”

03056, г. Киев, пр-т Победы, 37, корп. 1, Украина

andrew.kirichenko@gmail.com

Заика С.Н., асп.

Кировоградский национальный технический университет

25006, г. Кировоград, проспект Университетский, 8, Украина

borodavichus@gmail.com

Федотьев А.Н., к.т.н., доц.

Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского

39600, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20, Украина

fan450@yandex.ru

В статье рассмотрены возможные случаи возникновения особых положений у плоских механизмов параллельной структуры „лямбда” и „биглайд”. Установлены факторы, служащие причиной возникновения особых положений у данного типа механизмов, что даст возможность избежать их появления.

Ключевые слова: параллельная структура, особые положения, матрица Якоби, „лямбда”, „биглайд”.

THE SPECIAL RULES OF FLAT MECHANISMS OF PARALLEL STRUCTURE

Kirichenko A.M., Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

National Technical University of Ukraine 'Kyiv Polytechnic Institute'

03056, Kiev, prospect of a Victory, 37, к. 1, Ukraine

andrew.kirichenko@gmail.com

Zaika S.M., MA.

National technical universitet of Kirovograd

25006, Kirovorad, prospect of a Universitet, 8, Ukraine

borodavichus@gmail.com

Fedot'ev A.M., Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

Michaylo Ostrogradskiy Statel university of Kremenchug

39600, Kremenchuk, Pershotravneva St., 20, Ukraine

fan450@yandex.ru

The possible singularities of flat mechanisms of parallel structure „lambda” and „biglide” are considered. Factors which result in singularity of this type of mechanisms are set, that makes it possible to avoid these positions.

Key words: parallel kinematics, singularity, Jacobean, „lambda”, „biglide”.