

С.В. Ревенко, Е.Р. Тоуфак, Ю.О. Лебеденко

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ БАГАТОПРИВОДНОЮ СИСТЕМОЮ КАРКАСНОЇ УСТАНОВКИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Анотація. Стаття описує каркасну установку паралельної конструкції. Наведено формули механіки та руху каркасної установки. За допомогою залежностей визначені положення центру платформи, кут відхилення норми від вертикальної осі. Описано також співвідношення координат структури. Проаналізовано рівняння динаміки для многоприводних систем. За допомогою рівнянь Лагранжа отримана система диференціальних рівнянь, що описують оптимальне по відхиленню від заданої траєкторії рух маніпулятора.

Ключові слова: багатоприводна система, динаміка, каркасна конструкція, кінематика, оптимізація, рівняння Лагранжа.

У світовій інженерній практиці одна з основних задач це управління складним технологічним обладнанням, які передбачають складні траєкторії і комбінації рухів виконавчого органу. Багатофункціональні виробничі системи з механізмами паралельної структури є прогресивною формою організації виробництва, що забезпечує ефективну роботу при обмеженій кількості виробничого персоналу.

Каркасні багатоприводні установки є універсальними в ефективному вирішенні багатьох промислових задач. У процесі вибору конструктивної схеми чи компоновки такого обладнання виникають складнощі, пов'язані з розташуванням приводів. Щоб ефективно виконувати поставлені цілі, такі установки мають бути обладнані сучасними комп'ютеризованими системами керування.

В проектуванні каркасних установок виконується аналіз кінематичних закономірностей для обраної конструкції, а саме: діапазони переміщення та плани швидкостей рухомих елементів конструкції.

Одним з таких механізмів є каркасна установка паралельної структури, яка розроблена і сконструйована в Херсонському національному технічному університеті (рис.1) [1].



Рисунок 1 – Загальний вигляд установки каркасної конструкції

Рух платформи з робочим інструментом здійснюється у вертикальній площині і визначається рухом окремих вузлів уздовж напрямних штанг, який забезпечується роботою окремих двигунів. Кінематична схема симетричною каркасної конструкції з двома направляючими стержнями показана на рис. 2.

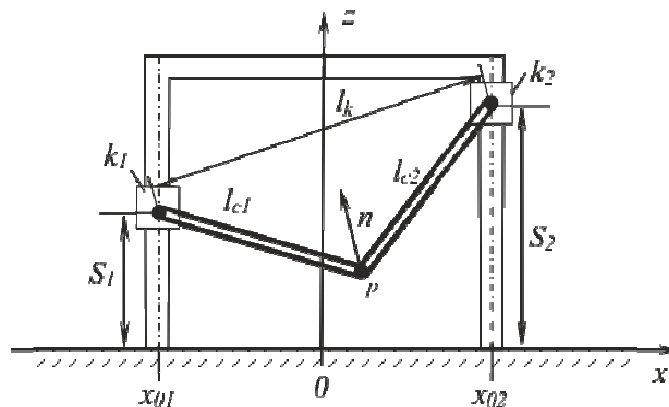


Рисунок 2 – Кінематична схема каркасної конструкції

Геометричні розміри елементів установки задаються на стадії проектування і виготовлення l_{c1} , l_{c2} - довжини стрижнів (балкових еле-

ментів), c_1, c_2 площадки P , на якій встановлюється робочий інструмент; Відомими вважаються відстань між опорами $d = -x_{01} = x_{02}$, а також початкові положення S_{01} і S_{02} кареток k_1 і k_2 .

Механічна підмодель дозволяє визначити положення центру майданчика, кут відхилення нормалі від вертикальної осі, а також зв'язки координат конструкції [2]. Якщо припустити, що довжини стрижнів рівні, тобто $l_{c1} = l_{c2} = l$, рівняння зв'язку між координатами (x, z) та переміщенням кареток (S_1, S_2) приймають вигляд

$$\begin{cases} x = \frac{1}{2} \cdot (S_2 - S_1) \cdot \sqrt{\frac{(S_2 - S_1)^2 - 4 \cdot l^2 + d^2}{(S_2 - S_1)^2 + d^2}}, \\ z = \frac{1}{2} \cdot \left(S_2 + S_1 - d \cdot \sqrt{\frac{(S_2 - S_1)^2 - 4 \cdot l^2 + d^2}{(S_2 - S_1)^2 + d^2}} \right). \end{cases} \quad (1)$$

Систему диференціальних рівнянь, що описують рух маніпулятора з голономним зв'язком, отриманих за допомогою рівнянь Лагранжа [3, 4] з невизначеними множниками, можна записати в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = \frac{F_1}{m} \cdot \sin^2 \alpha_1 + \frac{F_2}{m} \cdot \sin^2 \alpha_2, \\ \dot{x}_3 = x_4, \\ \dot{x}_4 = \frac{F_1}{m} \cdot \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 + \frac{F_2}{m} \cdot \sin^2 \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2. \end{cases}, \quad (2)$$

де введені позначення, $x_1 = x_2$; $x_3 = z$; F_1, F_2 – сили в ланках маніпулятора. В даному випадку ставиться задача визначення функцій $x_{2S-1}(t)$, $S=1,2$ переводять схват маніпулятора з початкового положення в кінцевий за час T , що мінімізує функціонал:

$$J = \int_0^T \left[\dot{x}_2^2 + \dot{x}_4^2 \right] dt \rightarrow \min. \quad (3)$$

Шукані функції повинні відповідати таким граничним умовам: $x_{2S-1}(0) = x_{2S-1,0}$ і $x_{2S-1}(E) = x_{2S-1,T}$ значення якої невідомо, а також

$x_{2S}(0) = x_{2S}(T) = 0$. Необхідні умови оптимальності можна записати наступним чином

$$\frac{\partial H}{\partial F_k} = 0 \quad (4)$$

де гамільтоніан H дорівнює

$$H = -\frac{1}{2}\dot{x}_2^2 - \frac{1}{2}\dot{x}_4^2 + \lambda_1 x_2 + \lambda_2 \dot{x}_2 + \lambda_3 x_4 + \lambda_4 \dot{x}_4 \quad (5)$$

Множники λ_n визначаються рівностями

$$\dot{\lambda}_n = -\frac{\partial H}{\partial x_n}, n = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

Далі гамільтоніан приводиться (5) до виду

$$H = \left(\frac{1}{2}\dot{x}_2^2 - \ddot{x}_2 x_2 \right) + \left(\frac{1}{2}\dot{x}_4^2 - \ddot{x}_4 x_4 \right) \quad (7)$$

Оскільки гамільтоніан не залежить від часу, він постійний і

$$\frac{dH}{dt} = \ddot{x}_2 x_2 + \ddot{x}_4 x_4 = 0$$

Даному рівнянню задовольняє рішення

$$\ddot{x}_1 = C_{11}; \ddot{x}_3 = C_{13}; \quad (8)$$

Для $x_k(t), k = 1, 3$ з урахуванням граничних умов маємо

$$x_k(t) = \frac{-2[x_k(T) - x_k(0)]}{T^3} t^3 + \frac{3[x_k(T) - x_k(0)]}{T^2} t^2 + x_k(0) \quad (9)$$

і після інтегрування отримуємо

$$\varphi(t) = \frac{\varphi(T)}{6T^3} t^3 - \frac{1}{4T^2} \varphi(T) t^2 + \varphi(0) \quad (10)$$

Далі при $t = T$ можна визначити невідоме значення кута повороту в кінцевий момент часу $\varphi(t)$.

Висновки. Представлені методи дозволяють оптимізувати роботу багатоприводної установки, збільшити швидкість і мінімізувати динамічні помилки при розробці програмних рухів. Було отримано система диференціальних рівнянь, що описують рух маніпулятора, знайдені за допомогою рівнянь Лагранжа. Рівняння динаміки для багатоприводних систем були проаналізовані.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Лебеденко Ю.О. Інформаційно-вимірювальна підсистема багатоприводної каркасної установки з механізмами паралельної структури / Ю.О. Лебеденко, А.А. Омельчук, О.О. Сафьяник // Вісник Херсонського національного технічного університету. Вип. 3(62). Т.1. – Херсон: ХНТУ, 2017. – С. 317 – 322.
2. 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. – 2017. – № 4. – С. 181-187.
3. Дьяшкин-Титов В.В. Задача оптимального управління перемещением схвата манипулятора-трипода [Текст] / В.В. Дьяшкин-Титов, В.Е. Павловский // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса - № 4 (36), 2014, – С. 1 – 6.
4. Красовский А.А. Справочник по теории автоматического управления / А.А. Красовский – М.: Наука. Гл. ред. физ. -мат. лит. , 1987. –712 с.

REFERENCES

1. Lebedenko Yu.O. Information-measuring subsystem of multi-drive frame installation with mechanisms of parallel structure / Yu. Lebedenko, A.A. Omelchuk, O.O. Safyanik // Bulletin of the Kherson National Technical University. No. 3 (62). T.1. - Kherson: KhNTU, 2017. - pp. 317 - 322.
2. Rudakova G.V. Development of specialized software for the design of frame installations with mechanisms of parallel structure / G.V. Rudakova, S.A. Rusanov, S.V. Revenko // Bulletin of the Kherson National Technical University. - 2017. - № 4. - pp. 181-187.
3. Dyashkin-Titov VV The problem of optimal control of the movement of the grip of the manipulator-tripod [Text] / V.V. Dyashkin-Titov, V.E. Pavlovsky2 // Proceedings of the Lower Volga agro-university complex - No. 4 (36), 2014, - pp. 1 - 6.
4. Krasovsky A.A. Reference on the theory of automatic control / A.A. Krasovsky - M.: Science. Ch. ed. physical -mat. lit. , 1987. –712 p.

Received 04.03.2020.
Accepted 10.03.2020.

Оптимальное управление многоприводной системой каркасной установки параллельной конструкции

Статья описывает каркасную установку параллельной конструкции. Приведены формулы механики и движения каркасной установки. С помощью зависимостей определены положения центра платформы, угол отклонения нормы от вертикальной оси, описаны соотношения координат структуры. Проанализированы уравнения динамики для многоприводных систем. С помощью уравнений Лагранжа получена система дифференциальных уравнений, описывающих оптимальное по отклонению от заданой траектории движение манипулятора.

Optimal control of the multi-drive system framework installation of parallel construction

The article is devoted to solving the problem of managing complex technological equipment, which includes complex trajectories and combinations of movements of the executive body. Multifunctional production systems with parallel structure mechanisms are a progressive form of production organization that ensures efficient operation with a limited number of production personnel.

Multipurpose frame installations are versatile in the efficient solution of many industrial problems. When choosing a design or layout of such equipment, there are difficulties associated with the location of the actuators. To achieve these goals effectively, such installations must be equipped with modern computerized control systems.

In the design of frame installations, kinematic regularities are analyzed for the selected structure, namely: displacement ranges and velocity plans of moving structural elements.

The article describes the frame installation of parallel construction that designed in Kherson National Technical University. The movement and mechanics of this device are disassembled. The movement of the platform with a working tool, which is determined by the movement of individual nodes along the guide rods, which is provided by the operation of individual engines.

The mechanical submodel allows to determine the position of the center of the site, the angle of deviation of the normal from the vertical axis, as well as the relationship of the coordinates of the structure.

The limiting possibilities of movement of the working body can be estimated on the basis of the solution of the direct kinematics problem, and in order to find the ranges of change of the parameters of operation of individual actuators (limiting speeds and accelerations) it is necessary to solve the inverse kinematics problem.

Formulas for mechanics and movement of this device are given. By means of dependencies the positions of the center of the platform are determined, the angle of deviation of the normal from the vertical axis. Relations of the coordinates of the structure were also described. Dynamics equations for multi-drive systems were analyzed. A system of differential equations describing the motion of a manipulator obtained using Lagrange equations was obtained.

Ревенко Сергій Володимирович - Херсонський національний технічний університет, аспірант кафедри автоматизації, робототехніки та мехатроніки.

Тоуфак Едмонд Родріг - Херсонський національний технічний університет, аспірант кафедри автоматизації, робототехніки та мехатроніки.

Лебеденко Юрій Олександрович - к.т.н., доцент, Херсонський національний технічний університет, доцент кафедри автоматизації, робототехніки та мехатроніки.

Ревенко Сергей Владимирович - Херсонский национальный технический университет, аспирант кафедры автоматизации, робототехники и мехатроники.

Тоуфак Эдмонд Родриг - Херсонский национальный технический университет, аспирант кафедры автоматизации, робототехники и мехатроники.

Лебеденко Юрий Александрович - к.т.н., доцент, Херсонский национальный технический университет, доцент кафедры автоматизации, робототехники и мехатроники.

Revenko Serhii – Kherson National Technical University, Postgraduate Student, Department of Automation, Robotics and Mechatronics.

Tchoufack Edmond– Kherson National Technical University, Postgraduate Student, Department of Automation, Robotics and Mechatronics.

Lebedenko Yurii – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kherson National Technical University, Associate Professor of the Department of Automation, Robotics and Mechatronics.