

Dezvoltarea masinilor-unelte si a robotilor prin structuri cu cinematica paralela

Student: Marian Petru

Conducător: conf. dr. Alexei Toca

Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi
Departamentul Ingineria Fabricației

Admis la susținere
Șef de departament:
conf. dr. hab. Sergiu Mazuru

„_” _____ 2021

Dezvoltarea masinilor-unelte și a robotilor prin structuri cu cinematica paralela

Teză de master

Programul

Ingineria Produsului și a Proceselor în Construcția de Mașini

Student: _____ (Marian Petru)

Conducător: _____ (Alexei Toca)

Chișinău – 2021

Rezumat

MARIAN PETRU. Dezvoltarea masinilor-unelte si a robotilor prin structuri cu cinematica paralela. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricatiei; 2021. Teză de master: pag. 60, desene – 73, surse bibliografice – 59.

Actualitatea mecanismelor cu cinematica paralela se datorează tehnicii de calcul. Se constata că mașinile bazate pe cinematica paralelă satisfac pe deplin cerințele actuale, adăugând un plus semnificativ în ceea ce privește productivitatea, precizia de prelucrare, posibilități de a genera suprafețe complexe, practic fără constrângeri geometrice. Sunt abordate solutiile principale ce țin de construcția mașinilor unelte si robotilor cu cinematică paralelă cum ar fi: mărirea rigidității (articulații performante), mărirea preciziei (calibrare, autocompensare, stabilitate termică), mărirea spațiului de lucru (mașini hibrid), prelucrarea pieselor cu gabarite mari (sisteme multi-modulare) etc. Mașinile unelte cu cinematică paralela pot schimba modul de proiectare mecanică din zilele noastre, scăpând de limitele impuse de mașinile unelte clasice. De perspectiva este principiul modular ale schemelor constructive, care va permite să fie extinse capacitățile tehnologice ale mașinilor si robotilor cu cinematică paralelă.

Summary

MARIAN PETRU. Development of machine tools and robots through structures with parallel kinematics. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical Engineering, Industrial Engineering and Transports; Department of Manufacturing Engineering, 2021. Master thesis: page 60; drawings – 73, bibliographic sources - 59

The actuality of the mechanisms with parallel kinematics is due to the calculation technique. It is found that machines based on parallel kinematics fully meet current requirements, adding a significant increase in productivity, processing accuracy, the ability to generate complex surfaces, virtually without geometric constraints. The main solutions related to the construction of machine tools and robots with parallel kinematics are approached, such as: increasing the rigidity (high-performance joints), increasing the precision (calibration, self-compensation, thermal stability), increasing the working space (hybrid machines), machining parts with large dimensions (multi-modular systems). Machine tools with parallel kinematics can change today's mechanical design mode, escaping the limits imposed by conventional machine tools. Perspective is the modular principle of construction schemes, which will allow to expand the technological capabilities of machines and robots with parallel kinematics.

Cuvinte cheie. Mașini-unelte, roboți, cinematica paralelă, grade de libertate, tripod, pentapod, hexapod, mecanisme cu cinematica paralelă.

Keywords. Machine tools, robots, parallel kinematics, degrees of freedom, tripod, pentapod, hexapod, mechanisms with parallel kinematics.

	Cuprins	pag
Introducere		5
1. Informații generale despre mașinile și mecanisme cu cinematică paralelă		6
1.1. Conceptul de mașini și mecanisme cu structură cinematică paralelă		6
1.2. Istoricul dezvoltării mecanismelor cu cinematică paralelă		8
2. Utilizarea industrială a mecanismelor cu cinematica paralelă		13
2.1. Mașini-unelte cu cinematica paralelă pentru tehnologii de prelucrare		13
2.2. Dispozitive de poziționare cu cinematica paralelă		24
2.3. Roboți de încărcare-descărcare și asamblare		27
2.4. Tehnica cu cinematica paralelă de măsurare dimensională în coordonate		29
2.5. Roboți multifuncționali		31
2.6. Utilizarea manipuletoarelor-tripod în industriile neprelucrătoare		33
2.7. Utilizarea sistemelor cu cinematica paralelă ca unități de transport		34
3. Caracteristici de proiectare ale mașinilor cu cinematică paralelă		35
3.1. Elemente constructiv-funcționale ale mecanismelor cu cinematica paralelă		42
Concluzii		58
Bibliografie		58

Introducere

Ingineria mecanică modernă se caracterizează prin actualizarea și îmbunătățirea constantă a mașinilor și tehnologiilor pentru fabricarea acestora. Specializarea echipamentelor de mașini-unelte nu corespunde pe deplin tehnologiilor progresive din cauza reinstalării repetate a pieselor, atunci când sarcinile sunt stabilite pentru a asigura o precizie sporită de poziționare a obiectului de prelucrare și mișcările tehnologice, inclusiv de modelare, ale organului executiv al mașinii-unelte, care asigură funcția instrumentală. Mașinile-unelte tradiționale au de obicei o structură secvențială. Au un singur lanț cinematic asociat cu organul executiv, care asigură toate gradele de libertate în sistemul de coordonate carteziane. Oportunitățile de îmbunătățire a caracteristicilor de precizie și rigiditate ale mașinilor-unelte secvențiale sunt limitate, deoarece fiecare cuplu cinematic primește și transmite sarcini în toate direcțiile. Astfel, o verigă separată a lanțului cinematic percepe și deplasează masele tuturor cuplurilor cinematice de-a lungul axelor coordonate controlate ale mașinii. Prezența unor mase mari în mișcare, lanțurilor dimensionale lungi, jocurilor în cuplurile cinematice afectează dinamica, în special la mașinile cu dimensiuni de gabarit semnificative.

O direcție promițătoare în proiectarea mașinilor multifuncționale pentru prelucrarea metalelor cu un anumit grad de libertate al organelor executive este utilizarea mai multor legături de intrare, care produc mișcare de translație sau rotație pe o platformă staționară și sunt conectate la corpul organului executiv prin sisteme cu tije cu articulații într-un spațiu închis. Astfel de sisteme în practica construcției de mașini-unelte sunt numite mecanisme cu structură paralelă (MSP) și construite pe baza lor - mașini-unelte cu cinematică paralelă. Dispunerea legăturilor mecanismului cinematic paralel pe o bază fixă reduce valoarea maselor aflate în mișcare, ceea ce contribuie la o performanță energetică ridicată și la transferul mișcărilor necesare către platformă cu ajutorul unor tije rigide, mărește precizia de poziționare a sculei. În plus, mecanismele unei structuri paralele și mașinile-unelte create pe baza lor oferă capacitatea de a efectua atât transportarea cât și operațiuni tehnologice cu același mecanism, se extind posibilitățile de mișcare la prelucrarea suprafețelor complexe ale pieselor. Crearea de structuri ușoare de mașini bazate pe mecanisme cu tije articulate poate, uneori, duce la o scădere a rigidității și la apariția vibrațiilor și, prin urmare, la o scădere a preciziei produselor fabricate, ceea ce necesită integrarea unor senzori suplimentari și o creștere a complexității sistemului de control. Mașinile simplificate și ușoare cu cinematică paralelă pot fi utilizate pe scară largă în industria mobilei și a prelucrării lemnului în condiții de prelucrare de mare viteză a pieselor nemetalice de diferite configurații.

Bibliografie

1. Parallel kinematic machines: theoretical aspects and industrial requirements / C.R. Böer, L. [Eds.]. – London: Springer-Verlag, 1999. – 455 p. – ISBN 978-1-4471-1228-0. Disponibil la: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4471-0885-6>
2. Hartt, B. Hexapod Linear Actuators / B. Hartt, B. Gilchrist, V. Truman. – San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2012. – 110 p. Disponibil la: <https://core.ac.uk/download/pdf/19152678.pdf>
3. Alexei Toca. Cu privire la rolul nivelului tehnic al sistemelor de producție în construcția de mașini. Culegere de lucrări științifice Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare. Vol. 5. Tehnica-Info, Chișinău, 1999, p. 202-206
4. Merlet, J.-P. Parallel Robots (Second Edition) / J.-P. Merlet. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2006. – 401 p. – ISBN 978-1-4020-4132-7. Disponibil la: <https://link.springer.com/book/10.1007/1-4020-4133-0>
5. Pandilov, Z. Parallel kinematics machine tools: Overview – from history to the future / Z. Pandilov, V. Dukovski // Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. – 2012. – Tome X. – P.111-124. Disponibil la: <http://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2012/ANNALS-2012-2-16.pdf>
6. S. V. Kamenev. Osnovy postroenia stankov s parallelnoi kinematikoï. Disponibil la: https://bstudy.net/802757/tehnika/osnovy_postroeniya_stankov_s_parallelnoy_kinematikoy
7. Van Vuuren, F. J. Design of a Hexapod Mount for a Radio Telescope: thesis pre-sented in partial fulfilment of the requirements for the degree Master of Science in Engineering (Mechatronic) / F. J. Van Vuuren. – Stellenbosch: University of Stellenbosch, 2011. – 133 p. Disponibil la: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.844.1128&rep=rep1&type=pdf>
8. Weck, M. Parallel Kinematic Machine Tools – Current State and Future Potentials / M. Weck, D. Staimer // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2002. – Vol. 51, No.2. – P. 671-683. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607617065>
9. Youssef, Helmi A. Machining technology: machine tools and operations / Helmi A. Youssef, Hassan El-Hofy. – Boca Raton: CRC Press, 2008. – 672 p. – ISBN 978-1-4200-4339-6. Disponibil la: <https://www.routledge.com/Machining-Technology-Machine-Tools-and-Operations/Youssef-El-Hofy/p/book/9781420043396>
10. Zhang, D. Parallel Robotic Machine Tools / D Zhang. – New York: Springer-Verlag, 2010. – 400. – ISBN 978-1-4419-1116-2. Disponibil la: <https://download.e-booksshelf.de/download/0000/0062/16/L-G-0000006216-0002334848.pdf>

11. Ziegert, J.C. Design and Testing of a High Speed, 5-DOF, Coordinate Measuring Machine with Parallel Kinematic Structure / J.C. Ziegert // ASPE Proceedings / Scottsdale, Arizona, 2000. – 4 p.
12. Galamov I. Vvedenie v parallelnye mehanizmy. Disponibil la: http://www.3e-club.ru/view_full.php?id=15
13. Dmitriev D.A., Kuznetsov Iu.N. Kinematika, komponovka i formoobrazuiuschie dvizhenia tokarnykh mnogoŕelevykh stankov s mehanizmami parallelnoi struktury. Disponibil la: <http://www.kdu.edu.ua/statti/2008-2-2/66.pdf>
14. Obrabatyvaiushee oborudovanie novogo pokolenia. Kontseptia proektirovaniia / V.L. Afonin, A.F. Krainev, V.E. Koval'ev i dr.; Pod red. V.L. Afonina. M.: Mašinstroenie, 2001. – 256 s. Disponibil la: https://www-studmed-ru.translate.google.com/afonin-vl-kraynev-af-koval'ev-ve-i-dr-obrabatyvaiushee-oborudovanie-novogo-pokoleniya-koncepciya-proektirovaniia_0a21e6bcd2a.html?_x_tr_sl=ru&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=en&_x_tr_pto=sc
15. Nesmianov I. A. Strukturnyi i parametricheskii sintez i optimizaciia programmnykh dvizhenii manipulatorov na osnove tripodov. Disponibil la: <https://docplayer.com/52652942-Nesmiyanov-ivan-alekseevich-strukturnyy-i-parametricheskii-sintez-i-optimizaciya-programmnykh-dvizheniy-manipulyatorov-na-osnove-tripoda.html>
16. Valiukevic, Iu.A. Prostranstvennyi manipulator na osnove gibkikh mehanicheskikh svazei. / Iu.A. Valiukevic, O.G. Tolstunov // Mehatronika, avtomatizaciia, upravlenie (MAU-2009). Materialy Mejdunarodnoi naucno-tehnicheskoi konferenci. – Taganrog: Izd-vo TTI IUFU, 2009. –S.314-316.
17. Fattah A., Hasan Ghasemi A.M. Isotropic Design of Spatial Parallel Manipulators. THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBOTICS RESEARCH / September 2002. pp. 811-824. Disponibil la: https://www.researchgate.net/publication/220122396_Isotropic_Design_of_Spatial_Parallel_Manipulators
18. Liu Guanfeng, Lou Yunjiang, and Li Zexiang. Singularities of Parallel Manipulators: A Geometric Treatment. IEEE Transactions On Robotics And Automation, VOL. 19, NO. 4, AUGUST 2003 p.p. 579-594. Disponibil la: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1220710>
19. Aŕun, S.F. Kinematicheskii analiz ŕkoskeleta v proŕesse podiema gruzov / S.F. Aŕun, S.I. Savin, A.S. Aŕun, G.V. Klimov // Izvestia Iugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Tehnika i tehnologii. - 2015. - № 3 (16). - S. 24-30.
20. Parallel mechanisms information center. Disponibil la: <http://www.pallemic.org>.
21. Hu Ying Yao. Parallel kinematic robot mechanism analysis and synthesis. Bulletin Of Advanced Technology Research. Vol. 3 No.7 / Jul. 2009. Pp. 6-10.

22. Alizade R.I., Tagiyev N.R., Duffy J. A Forward and Reverse Analysis of a 6-DOF In-Parallel Manipulator // Mechanism and Machine Theory. 1994. Vol. 29. Iss. 1, pp. 115–124. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0094114X94900248>
23. K. Rokosz, T. Hryniewicz, Ł. Dudek, K. Pietrzak, S. Raaen, W. Malorny and Rodion Ciuperca, SEM, EDS and XPS studies of AC & DC PEO coatings obtained on titanium substrate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 564 (2019) 012043 IOP Publishing DOI:10.1088/1757-899X/564/1/012043.
24. Alexei Toca. About the mutual influence of design and technological dimensional structures at creation of the optimum technological processes to machining. Proceedings of the 14th International Conference “Modern Technologies, Quality and Innovation – ModTech 2010”, Slanic Moldova, Romania, 2010, ISSN 2066 – 3919, pp. 623 – 626
25. Iurie Ciofu, Tatiana Nițulenco, Ioan-Lucian Bolunduț, Alexei Toca. Studiul și Ingineria Materialelor (materiale metalice). Chișinău U.T.M., 2012. -467 p.
26. Iurie Ciofu, Tatiana Nițulenco, Ioan-Lucian Bolunduț, Alexei Toca. Simbolizarea materialelor metalice în sistemele de standarde GOST (Rusia), STAS (România) și EN (Uniunea Europeană) Editura TEHNICA UTM, Chișinău, 2013
27. Iurie Ciofu, Tatiana Nițulenco, Ioan-Lucian Bolunduț, Alexei Toca. Studiul și Ingineria Materialelor (materiale nemetalice). Sticla. Chisinau, Editura UTM, 2014, 256 pag.
28. Mazuru Sergiu and Scaticailov S 2018 Tehnologii și procedee de danturare a roților dințate Univ. Tehn A Moldovei (Chișinău: Tehnica-UTM)
29. Bostan I., Mazuru Sergiu Aprecierea calității organelor de mașini la etapa de pregătire tehnologică a producției. Buletinul Institutului Politehnic Iași tomul LIV Fascicula Vc Iași 749–752
30. Sergiu Mazuru, Metode și procedee de fabricare aditivă: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2021. – 144 p.
31. Adrian BUT, Sergiu MAZURU, Serghei Scaticailov Fabricația asistată de calculator: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2021. – 179 p.
32. Roman Somnic, Sergiu Mazuru. Analiza importanței și structura industriei constructoare de mașini. Tehnica UTM. 2013 pp. 378-380.
33. Mazuru Sergiu, Casian M and Scaticailov S 2017 Adv. Mat. Res. 112 01026
34. Vlase A Mazuru Sergiu, and Scaticailov S 2014 Tehnologii de prelucrare pe mașini de danturat (Chișinău: Tehnica-UTM)
35. Mazuru Sergiu and Scaticailov S 2018 Tehnologii și procedee de danturare a roților dințate Univ. Tehn A Moldovei (Chișinău: Tehnica-UTM)

36. Bostan I., Mazuru Sergiu *Aprecierea calității organelor de mașini la etapa de pregătire tehnologică a producției*. Buletinul Institutului Politehnic Iași tomul LIV Fascicula Vc Iași 749–752
37. Bostan I Dulgheru V Glușco C and Mazuru Sergiu 2011 *Antologia invențiilor Vol 2 Transmisii planetare precesionale* (Chișinău: Bons Offices)
38. Mazuru S 2010 *Mechanism of training component kinematics error gears in operation technology hardening chemical – heat* (Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Tomul LVI (LX) Fasc 2a)
39. Bostan I, Mazuru S and Botnari V 2011 *Cinetic process of teeth grinding* (The 15 th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Innovation Vadul lui Voda Moldova România)
40. Bostan I, Mazuru S. Vaculenco M and Scaticailov S *Issues technology manufacturing precessional gears with nonstandard profile generating IX international congress “Machines Technologies Materials 2012” Varna Bulgaria Vol I.*
41. Sergiu Mazuru. *Technological processes generating non-standard profiles of precessional gear*. Thesis for: Doctor of Technical Sciences.2019, UTM. DOI:10.13140/RG.2.2.19477.76005
42. Iațhevici Vadim, Mazuru, Sergiu. *Mechanisms for stimulating innovation and technology transfer in the Republic of Moldova*. Revista ”Intellectus” nr. 3/2014.
43. Sergiu Mazuru, *Bazele proiectării dispozitivelor: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2001. – 182 p.*
44. Sergiu Mazuru. *Bearing capacity of precessional transmissions with gear change* . Thesis for:Doctor degree..1996, UTM. DOI: 10.13140/RG.2.2.36211.35366.
45. Sergiu Mazuru. *Bearing capacity of precessional transmissions with gear change* . Thesis for:Doctor degree..1996, UTM. DOI: 10.13140/RG.2.2.36211.35366.
46. Slătineanu L., Coteață M., Pop N., Mazuru S., Coelho A., Beșliu I. *Impact phenomena at the abrasive jet machining*. *Nonconventional technologies Review* , nr. 1, 2009, p.96-99.
47. Mazuru S. and Casian M., *Theoretical and experimental aspects concerning elastic behavior in the grinding technological system*, *Advanced Materials Research*, Vol. 1036 (2014) pp 286-291.;
48. Casian M. and Mazuru S., *A study concerning the workpiece profile after grinding process of precessional gear wheels*, *Advanced Materials Research*, Vol. 1036 (2014) pp 292-297.;
49. Chereches T, Lixandru P., Mazuru S., Cosovschi P.and Dragnea D. *Numerical Simulation of Plastic Deformation Process of the Glass Mold Parts*. *Applied Mechanics and Materials* Vol. 657 (2014) pp 126-132.;

50. Stanislav DUER, Radoslav DUER, Sergiu MAZURU. "Determination of the expert knowledge base on the basis of a functional and diagnostic analysis of a technical object" . *Neconventional Tehnologies reviv* volume XX no.2/2016 (2016). Timisoara Romania pp . 23-29, ISSN: 2359-8646;
51. Bostan I, Mazuru S. Vaculenco M and Scaticailov S Processes generating non-standard profiles variable convex- concav of precessional gear. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*. Volume 5, Issue 2 / 2020, pp. 111-122.
52. Slatineanu L., Toca A., Mazuru S., Dodun O., & Coteata M. Theoretical Model of the Surface Roughness at the End Milling with Circular Tips *Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium*, , Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2008, pp.1273-1274.
53. Bostan I., Mazuru Sergiu. Influence of the grinding parametrs on the characteristics of gears teeth outerlayer. First part. *Proceedings of The 13th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Inovation IASI & Chisinau ModTech 2009*.
54. Bostan I., Mazuru Sergiu. Influence of the grinding parametrs on the characteristics of gears teeth outerlayer. Second part. *Proceedings of The 13th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Inovation IASI & Chisinau ModTech 2009*.
55. Mazuru S. System reliability and optimization processing parametrs for its accuracy of elements. First part. *The 14th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Innovation. ModTech 2010, 20-22 May, 2010 Slănic Moldova Romania*.
56. Mazuru S. Mechanism of training component kinematics error gears in operation tehnology hardening chemical – heat. *Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Tomul LVI (LX). Fasc. 2a 2010*
57. *Slătineanu, L., Gonçalves-Coelho, A., Coteață, M., Uliuliuc, D., Grigoraș (Beșliu), I., Mazuru, S. Teaching students the basics of designing experimental research equipment. ICAD 2011. Proceedings of the 6th International Conference on Axiomatic Design. Editor: Mary Kathryn Thompson, KAIST, Daejeon, Republic of Korea, pag. 195-203.*
58. Mazuru S., Scaticailov S. , Mazuru A. Some aspects of the nitriding process of parts in machine construction. Conference: *11th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies. Bucuresti, Romania IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1018 012011.*

59. Mazuru S., Scaticailov S. The role of the friction process in abrasive grain micro cutting technology. Conference: 11th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies. Bucuresti, Romania IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1018 012010.