

UDC 621.914.3

Manzhola M.

National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute»

MODELING MOVEMENTS OF MULTIAxis MILLING MACHINE WITH PARALLEL KINEMATIC MECHANISMS

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ РУХІВ БАГАТОКООРДИНАТНОГО ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Abstract: The problem of work is devoted to the study of kinematic features of multiaxis milling machines with parallel kinematic mechanisms (PKM). The purpose of this research is study of the nature of the formative movements of milling machine with 4-axis PKM by simulating typical trajectories of tool movement and monitoring the movement of the carriage on the guides. Technique of realization of this objective is to develop a parametric structural 3D-model of the machine and solving the inverse kinematics for it, and finally conducting simulation of tool movements. The study proposed a method for solving the inverse kinematics problem for PKM on the rods of constant length, as well as the approach to the modeling of complex trajectories of tool movements of PKM. The resulting graph of tool trajectories allows making conclusions about the efficiency of the PKM and its kinematic properties.

Keywords: modeling formative movements, multi-axis machine, mechanisms of parallel structure.

INTRODUCTION

One of the key points in the development of modern CNC machines is computer modeling, analysis and visualization formative movements, which is especially important when designing machines with parallel kinematic mechanisms (PKM) [1]. This is due to the fact that this type of machines tool is set to move at the same time several kinematic links, so there is a need for a precise calculation of the trajectory of each of the units, which is only possible through the use of modern tools 3D-modeling (SolidWorks, Autodesk Inventor) and programs to mathematical calculation (MathCAD, MATLAB, Maple) [2]. Work involves the scientific direction of research undertaken for many years at the Department of designing tools and machines NTU "KPI" Prof. Y. Kuznetsov to create a new generation of machines [3].

PROBLEM STATEMENT

Purpose is to study the characteristics of formative movements of multiaxis milling machines

Анотація: Проблематика роботи пов'язана з дослідженнями кінематичних особливостей багатокоординатних фрезерних верстатів з механізмами паралельної структури (МПС). Метою дослідження є вивчення характеру формо – утворюючих рухів фрезерного верстату з чотирьох координатним МПС шляхом моделювання типових траєкторій руху виконавчого органу (ВО) і моніторингу відповідного переміщення кареток на напрямних. Методика реалізації вказаної мети полягає у розробці параметричної структурної 3D-моделі верстату, а також у вирішенні оберненої задачі кінематики для неї і, на сам кінець, проведенні моделювання формоутворюючих рухів ВО верстату. В результаті дослідження запропоновано методику вирішення оберненої задачі кінематики для МПС на штангах постійної довжини, а також підхід до моделювання складних траєкторій руху ВО МПС. Отримані графіки траєкторій руху ВО дозволяють зробити висновки щодо працездатності МПС і його кінематичних властивостей.

Ключові слова: моделювання формоутворюючих рухів, багатокоординатний верстат, механізми паралельної структури.

ВСТУП

Одним з ключових моментів при створенні сучасних верстатів з ЧПК є комп'ютерне моделювання, аналіз і візуалізація формоутворюючих рухів, що особливо важливо при проектуванні верстатів з механізмами паралельної структури (МПС) [1]. Це обумовлено тим, що у даному типі верстатів виконавчий орган (ВО) приводиться до руху водночас декількома кінематичними ланками, тому виникає необхідність у точному розрахунку траєкторії руху кожної з ланок, що можливо лише за рахунок використання сучасних інструментів 3D-моделювання (SolidWorks, Autodesk Inventor) та програм для математичного розрахунку (MathCAD, MATLAB, Maple) [2]. Робота пов'язана з науковим напрямом досліджень, які проводяться багато років на кафедрі конструювання верстатів та машин НТУУ «КПІ» під керівництвом проф. Кузнєцова Ю.М. по створенню верстатів нового покоління [3].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Мета роботи полягає у вивченні характеру формоутворюючих рухів багатокоординатного

with PKM by simulating typical trajectories tool and monitoring the movement of carriages on rails. To achieve this goal besides, it is necessary to solve related problems, namely to develop structural parametric 3D-model of the machine, and solve the inverse kinematics problem for her.

MAIN ARTICLE

For the simulation, computer-aided design in SolidWorks was created solid-state 3D-model (Fig. 1), which is a structural image of the machine [4] and consists of a lower base containing edges of square section, which are interconnected and the upper basis using areas and vertical bars of circular cross section. Vertical racks serve as the guide, which moves the spherical joints that are connected to the constant length rods of circular cross section. Other end rods pivotally connected to a movable platform square form, consisting of edges of square section, interconnected spherical parts. At the center of the platform is vertically tool. In 3D-models using coaxial fixing and coupling between components, so there is the possibility to set constant length rod movement mechanism and observe the corresponding movement of the movable platform in space. In addition, the structural representation of the model of the machine thus allows to measure the coordinates of the key points of the machine shown in the form of spherical parts, and the distance between them at any given time during the movement of the tool.

фрезерного верстату з МПС шляхом моделювання типових траєкторій руху ВО і моніторингу відповідного переміщення кареток на напрямних. Для досягнення вказаної мети крім того необхідно вирішити супутні задачі, а саме: розробити параметричну структурну 3D-модель верстату, а також вирішити обернену задачу кінематики для неї.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Для проведення моделювання, в системі автоматизованого проектування SolidWorks було створено твердотільну 3D-модель (рис. 1), яка являє собою структурне зображення верстату [4] і складається з нижньої основи, що містить ребра квадратного перерізу, які з'єднані між собою і верхньою основою за допомогою сфер і вертикальних стійок круглого перерізу. Вертикальні стійки виконують функції напрямних, по яких рухається сферичні шарніри, що з'єднані зі штангами постійної довжини круглого перерізу. Інші кінці штанг шарнірно з'єднані з рухомою платформою квадратної форми, що складається з ребер квадратного перерізу, з'єднаних між собою сферичних деталей. По центру платформи вертикально розміщений виконавчий орган. У 3D-моделі використані співвісні та фіксуючі спряження між компонентами, завдяки чому присутня можливість задавати рух штанг постійної довжини механізму і спостерігати відповідні переміщення рухомої платформи у просторі. Крім того, структурне представлення моделі верстату у такий спосіб дозволяє вимірювати координати ключових точок верстату, зображених у вигляді сферичних деталей, і відстані між ними в конкретний момент часу в процесі руху ВО.

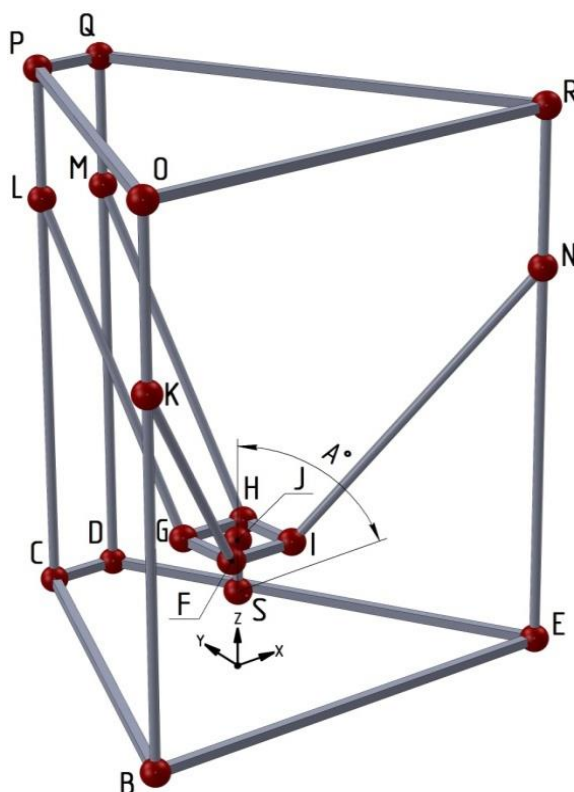


Fig. 1 – Structural 3D-model of multiaxis milling machines with PKM / Структурна 3D-модель багатокординатного фрезерного верстату з МПС

Structural model of the machine tool provides motion platform on four coordinates, namely three linear (X, Y, Z) and one rotary (around the axis A). So moving end rods of constant length (point K, L, M, N) in the vertical directional motion platform may ask for the above directions.

The problem of calculating the inverse kinematics of parallel mechanism is to find the relationship between movements of the points K, L, M, N and movement tool S. It is necessary to form completely block outgoing data (Table. 1), which must be taken into account and set all parameters unchanged, and kinematic design features that can be expressed relevant provisions of the key points or components of the system, namely the coordinates of points begin vertical guides (B, C, D, E), the length of the rods of constant length (KF, LG, MH, NI), distance from the center of the platform by the end of the tool (SJ), dimensions platform FGHI. All the necessary coordinates and distances obtained by measuring the 3D-model. In addition to the block output data set coordinates of the tool – the end point S (X, Y, Z, A) in which the tool should be at any given time.

Структурна модель верстату забезпечує рух платформи по чотирьом координатам, а саме: трьом лінійним (X, Y, Z) та одній обертовій (навколо вісі A). Таким чином переміщуючи кінці штанг постійної довжини (точки K, L, M, N) по вертикальним напрямним можливо задати рух платформи по вищенаведеним координатам.

Задача обчислення оберненої кінематики паралельного механізму полягає у знаходженні залежності між рухом точок K, L, M, N і переміщенням виконавчого органу S. Для цього необхідно повністю сформуванати блок вихідних даних (табл. 1), де має бути враховано всі задані та сталі параметри, а також кінематичні особливості конструкції, які можуть виражатися відповідним положенням ключових точок або ланок системи, а саме: координати точок початку вертикальних напрямних (B, C, D, E), довжини штанг постійної довжини (KF, LG, MH, NI), відстань від центру платформи до кінця інструменту (SJ), габаритні розміри платформи FGHI. Всі необхідні координати та відстані отримані при вимірюванні 3D-моделі. Крім того у блоці вихідних даних задаються координати кінця інструменту – точки S (X, Y, Z, A), в яких він має перебувати в конкретний момент часу.

Table 1

Output data / Блоки вихідних даних

Координати точок компонування / The coordinates of the points composing	Довжини відрізків компонування / The lengths of the points composing	Координати та кут нахилу інструменту / Coordinates and angle tools
xB = - 250 yB = - 167.886 zB = 0 xC = - 40 yC = 285.876 zC = 0 xD = 40 yD = 285.876 zD = 0 xE = 250 yE = - 167.886 zE = 0	KF = 400 LG = 400 MH = 400 NI = 400 SJ = 60 FG = 80 GH = 80 HI = 80 IF = 80	z = 0 y = 0 z = 0 A = 90deg

The block output data layout machine specific size are formed, necessary to form blocks calculate the coordinates of occasions (Table. 2), these blocks are the distance from the bottom of the vertical guides machine (points B, C, D, E) to the corresponding points rods of constant length (point K, L, M, N), are linearly moved in vertical guides.

To do this, find the coordinates of J (xJ, yJ, zJ), which depend on the coordinates of the tool and its angle of inclination; then similarly are the coordinates of F (xF, yF, zF).

Found coordinates of the point F; then find the length of the perpendicular conducted from point F to point T on the vertical directing; Then you can get long legs and the hypotenuse of the triangle FTK and find his second cathetus TC; then calculated

Сформулювавши блок вихідних даних компонування верстату з конкретними розмірами, переходимо до блоків обчислення координат приводів (табл. 2), які являють собою відстані від нижніх частин вертикальних напрямних верстату (точки B, C, D, E) до відповідних точок штанг постійної довжини (точки K, L, M, N), які лінійно переміщуються по вертикальних напрямним.

Для цього на сам перед знаходяться координати точки J (xJ, yJ, zJ) в залежності від координат інструменту і кута його нахилу, далі аналогічним чином знаходяться координати точки F (xF, yF, zF). Отримавши координати точки F знаходиться довжина перпендикуляра проведеного з точки F до точки T на вертикальній напрямній, після чого отримавши довжини катета і гіпотенузи трикутника

the height of the K point of the coordinate Z, which is the amount by which you want to move the point K to instrument has taken the necessary coordinates and angle.

Similarly, all four blocks are calculated computation drives (BK, CL, DM, EN) (Table. 2), and then received Mathematical formulas are checked for authenticity using for calculations (eg MathCAD) and structural 3D-model of the machine, built in the system aided design (eg SolidWorks).

FTK знаходиться його другий катет ТК і розраховується висота точки К по координаті Z, яка і є величиною, на яку необхідно перемістити точку К для того, щоб інструмент зайняв необхідні координати і кут нахилу.

Аналогічним чином розраховуються усі чотири блоки обчислення приводів (BK, CL, DM, EN) (табл. 2), після чого отримані математичні залежності перевіряються на достовірність за допомогою програми для розрахунків (напр., MathCAD) і структурної 3D-моделі верстату, побудованої в системі автоматизованого проектування (напр., SolidWorks).

Table 2

Blocs of calculate the coordinates of drives / Блоки обчислення координат приводів

Блок обчислення приводу BK / Block of calculate the drive BK	Блок обчислення приводу CL / Block of calculate the drive CL
$xJ = x + SJ \cdot \cos(A)$ $yJ = y$ $zJ = z + SJ \cdot \sin(A)$ $xF = IF \cdot 0.5 \cdot \cos(A + 90deg) + xJ$ $yF = yJ - 0.5 \cdot IF$ $zF = IF \cdot 0.5 \cdot \sin(A + 90deg) + zJ$ $TF = \text{sqr}((xF - xB)^2 + (yF - yB)^2 + (zF - zB)^2)$ $TK = \text{sqr}(KF^2 - TF^2)$ $BT = zB + zF$ $BK = TK + BT$ $BK = 375.508$	$xJ = x + SJ \cdot \cos(A)$ $yJ = y$ $zJ = z + SJ \cdot \sin(A)$ $xG = FG \cdot 0.5 \cdot \cos(A + 90deg) + xJ$ $yG = yJ + 0.5 \cdot FG$ $zG = FG \cdot 0.5 \cdot \sin(A + 90deg) + zJ$ $UG = \text{sqr}((xG - xC)^2 + (yG - yC)^2 + (zG - zC)^2)$ $UL = \text{sqr}(LG^2 - UG^2)$ $CU = zC + zG$ $CL = UL + CU$ $CL = 375.508$
Блок обчислення приводу DM / Block of calculate the drive DM	Блок обчислення приводу EN / Block of calculate the drive EN
$xJ = x + SJ \cdot \cos(A)$ $yJ = y$ $zJ = z + SJ \cdot \sin(A)$ $xH = GH \cdot 0.5 \cdot \cos(A - 90deg) + xJ$ $yH = yJ + 0.5 \cdot GH$ $zH = GH \cdot 0.5 \cdot \sin(A - 90deg) + zJ$ $VH = \text{sqr}((xH - xD)^2 + (yH - yD)^2 + (zH - zD)^2)$ $VM = \text{sqr}(MH^2 - VH^2)$ $VD = zD + zH$ $DM = VD + VM$ $DM = 375.508$	$xJ = x + SJ \cdot \cos(A)$ $yJ = y$ $zJ = z + SJ \cdot \sin(A)$ $xl = HI \cdot 0.5 \cdot \cos(A - 90deg) + xJ$ $yl = yJ - 0.5 \cdot HI$ $zl = HI \cdot 0.5 \cdot \sin(A - 90deg) + zJ$ $WI = \text{sqr}((xl - xE)^2 + (yl - yE)^2 + (zl - zE)^2)$ $WN = \text{sqr}(NI^2 - WI^2)$ $EW = zE + zl$ $EN = EW + WN$ $EN = 375.508$

To test mathematical relationships obtained in block output data set tool coordinates (X, Y, Z) and the angle of inclination (A), then the values for drives BK, CL, DM, EN entered in the 3D-model parameters (weights are moved to given distance) and then executed coordinate measurement instrument and its tilt angle in the 3D-model. If the measured coordinates coincide with the set of initial data in the block - Mathematical formulas are formulated correctly, so the inverse kinematic problem for the machine tool solved correctly. Early testing of the mathematical relationships expedient to set itself on to the zero position PA (x = 0; y = 0; z = 0; A = 90°), and then provided the correct working set positive and negative values of output data.

After receiving the working unit calculating the inverse kinematic task is performed computer simulations of typical formative trajectories machine

Для здійснення перевірки отриманих математичних залежностей у блоці вихідних даних задаються координати інструменту (X, Y, Z) і кут його нахилу (A), далі отримані значення для приводів BK, CL, DM, EN заносяться в параметри 3D-моделі (штанги переміщуються на задані відстані), після чого виконується вимірювання координат інструменту і кута його нахилу в 3D-моделі. У випадку якщо вимірні координати співпадають із заданими в блоці вихідних даних – математичні залежності сформульовані вірно, а значить обернена кінематична задача для даного верстату вирішена правильно. На початку перевірки працездатності математичних залежностей доцільно задавати на сам перед нульове положення ВО (x=0; y=0; z=0; A=90°), а далі при умові коректного відпрацювання задавати додатні і від’ємні значення вихідних даних.

Після отримання працездатного блоку об-

tool [5]. This study appropriate to do by setting the matrix of set points approximated trajectory of and further reflect the nature of movement on the guide rods PKM in graphs.

Fig. 2 and Fig. 3 shows typical character study of a multi tool movements milling machine, which should include algorithm interpolator device computer program control (CNC) some preparatory functions.

числення оберненої кінематичної задачі проводиться комп'ютерне моделювання типових формуючих траєкторій руху ВО верстату [5]. Дане дослідження доцільно робити шляхом завдання матриці з набором точок апроксимованої траєкторії руху ВО і подальшим відображення характеру руху штанг на напрямних МПС у вигляді графіків.

На рис. 2 і рис. 3 наведено дослідження характеру типових рухів ВО багатокординатного фрезерного верстату, які має містити алгоритм роботи інтерполятора пристрою числового програмного керування (ЧПК) окремими підготовчими функціями.

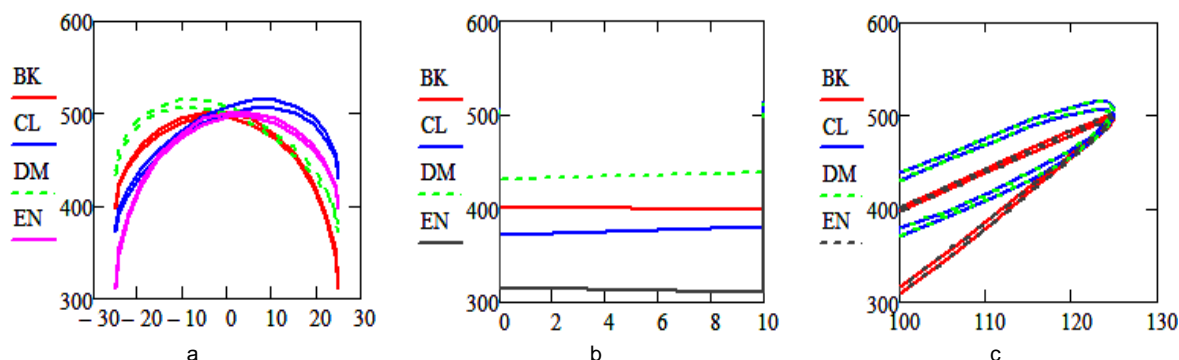


Fig. 2 - Modeling spherical trajectory angle of processing platform to 180°: /
 Моделювання сферичної траєкторії обробки з кутом повороту платформи на 180°:
 a - on X axis / а - по вісі X; b - on Y axis / б - по вісі Y; c - on Z axis / с - по вісі Z

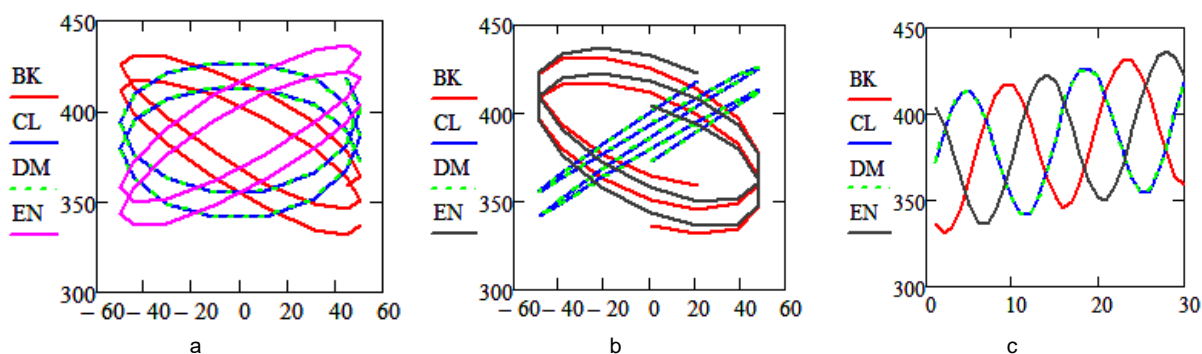


Fig. 3 - Modeling helical trajectory without turning processing platform: /
 Моделювання гвинтової траєкторії обробки без повороту платформи:
 a - on X axis / а - по вісі X; b - on Y axis / б - по вісі Y; c - on Z axis / с - по вісі Z

In particular, the processing of a spherical surface (Fig. 2) is the rotation tool from 0° to 180° around the center of the sphere, accompanied by appropriate visualization of motion rods in the plane X (Fig. 2a). In the simulation of helical trajectory tool on axis Z (Fig. 3) (corresponding, for example, milling carving surface) in different planes observed helical and sinusoidal movements rods, indicating that the cyclical tool path of gradual growth of the coordinate Z (Fig. 3, c).

Зокрема, при обробці сферичної поверхні (рис. 2) відбувається оберт інструменту від 0° до 180° навколо центру сфери, що супроводжується відповідною візуалізацією руху штанг в площині X (рис. 2, а). При моделюванні гвинтової траєкторії руху ВО по вісі Z (рис. 3) (що відповідає, наприклад, фрезеруванню різьбової поверхні) в різних площинах спостерігається гвинтоподібний і синусоїдальний рухи штанг, що свідчить про циклічність траєкторії ВО з поступовим зростанням по координаті Z (рис. 3, в).

CONCLUSIONS

During the work proposed and worked out an approach to solving the inverse kinematics problem for a multi PKM that the use of different structural 3D-model machines with given geometric parameters and the use of computer-aided mathematical calculation. The method of

ВИСНОВКИ

В ході роботи запропоновано і відпрацьовано підхід до вирішення оберненої задачі кінематики для багатокординатного МПС, що відрізняється використанням структурної 3D-моделі верстату із заданими геометричними параметрами і застосуванням систем автоматизованого математичного розрахун-

visualization tools machine formative movements using dependencies inverse kinematic problem and check the results on the corresponding 3D-model. The research results can be used to create software control system of a multi shaper of PKM and objectives algorithms interpolatora CNC system.

REFERENCES

- [1]. Y. Kuznetsov, D. Dmitriev, G. Dinevich (2010) - The Layouts of machines with mechanisms of parallel structure. Kherson: V. Vyshemyrsky company – 471 p.
- [2]. A. Kyrychenko (2012) – The scientific basis for the creation of mechatronic systems spatial motion of spindle in multiaxis machines. Dr. of science dissertation, NTUU KPI, Kyiv – 341 p.
- [3]. Y. Kuznetsov, D. Dmitriev, V. Firanskyi, O. Stepanenko (2012) – Implementing the concept of frame layouts machines with mechanisms of parallel structure. Science news of "KPI" № 1.
- [4]. Y. Kuznetsov, O. Stepanenko, M. Manzhola (2012) – Multiaxis milling machine”, Patent for useful model № 74716 Ukraine. IPC B23B 35/00; appl. 10.04.2012, Publ. 12.11.2012. Bull. № 21.
- [5]. D. Dmitriev (2012) – The scientific principles of design of machines with mechanisms of parallel structure. Dr. of science dissertation, NTUU KPI, Kyiv. –276 p.

ку. Запропоновано метод візуалізації формо утворюючих рухів ВО верстату із використанням залежностей оберненої кінематичної задачі і перевіркою отриманого результату на відповідній 3D-моделі. Результати досліджень можуть бути використані для створення програмного апарату керування багатокоординатним фрезерним верстатом з МПС, а також завдання алгоритмів роботи інтерполятора системи ЧПК.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Кузнецов Ю.Н., Дмитриев Д.А., Диневи́ч Г.Е. (2010) – Компонировки станков с механизмами параллельной структуры. Изд-во: Херсон, ПП Вишемирский В.С. – 471 с.
- [2]. Кириченко А.М. (2012) – Наукові основи створення мехатронних систем просторового розміщення шпинделя багатокоординатних верстатів. Дис. докт. техн. наук НТУУ "КПІ" Київ – 341 с.
- [3]. Кузнецов Ю.М., Д.О. Дмитриев, В.Б. Фіранський, О.О. Степаненко (2012) – Реалізація концепції каркасних компоновок верстатів з механізмами паралельної структури. Наукові вісті НТУУ "КПІ" № 1.
- [4]. Кузнецов Ю.М., Степаненко О.О., Манжола М.Ю. (2012) – Багатокоординатний фрезерний верстат. Патент України на корисну модель № 74716. МПК В23В 35/00; заявл. 10.04.2012; Опубл. 12.11.2012. Бюл. № 21.
- [5]. Дмитриев Д.О. (2012) Наукові принципи компоновок верстатів з механізмами паралельної структури. Дис. докт. техн. наук НТУУ "КПІ" Київ. – 276 с.