

**DESIGN, ALGORITHMIZATION AND
DIAGNOSIS OF TECHNOLOGICAL
COMPLEX AUTOMATED CONTROL
SYSTEMS**

**ПРОЕКТУВАННЯ, АЛГОРИТМІЗАЦІЯ І
ДІАГНОСТИКА СИСТЕМ
АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ**

UDC 621.9.06

Dmytriev D., DThSc., Professor,
Piven S., Keba P.

Kherson National Technical University / Ukraine

**METHOD ONE-PARAMETRIC FAMILIES FOR ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE
END-EFFECTOR CURVED MOTION OF THE MACHINE-TOOLS WITH THE
MECHANISMS OF THE PARALLEL STRUCTURE**

**МЕТОД ОДНОПАРАМЕТРИЧНИХ СІМЕЙ ДЛЯ АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ
КРИВОЛІНІЙНОГО РУХУ ТА РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ ВИКОНАВЧИМ
ОРГАНОМ ВЕРСТАТІВ З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ**

Abstract: It is considered an analytical description of the control of an end-effector of lathes with the mechanisms of the parallel structure that provides assessment of the machine-tool guides positions of (inverse kinematics problem) and then move them to the appropriate position (forward kinematics problem). Proposed mathematical method of one-parameter families as an effective description of the parts surface geometry and its application to make kinematic structures control of the machine actuator.

Анотація: Розглянуто аналітичний опис керування виконавчим органом верстатів з механізмами паралельної структури, що передбачає оцінку положень повзунів на напрямних верстата (зворотня задача) з подальшим переміщенням їх у відповідне положення (пряма задача). Запропоновано математичний метод однопараметричних сімей як ефективний опис геометрії поверхонь деталей, що підлягають обробці і його застосування для створення відповідних кінематичних структур керування виконавчим органом верстату.

Keywords: machine-tool end-effector, method of one-parameter families, inverse kinematics problem, forward kinematics problem, mechanisms of parallel structure

Ключові слова: виконавчий орган верстату, метод однопараметричних сімей, зворотня задача кінематики, пряма задача кінематики, механізми паралельної структури

INTRODUCTION

Mechanisms of parallel structures are increasingly used in modern machine-tools [7]. Modern technologies require more complex parts with more intricate shape, production of which makes the processing more complicated [3]. Also the economic demands simultaneous processing of all sides of the workpiece (except base) makes it difficult to split the processing into several simple steps. More complex forward and inverse kinematics problem for intricate curvilinear motion of the machine end-effector EE becoming more difficult to calculate.

ВСТУП

Механізми паралельної структури все більше використовують у сучасному верстатобудуванні [7]. Сучасні технології вимагають більш складніших деталей, виробництво яких ставить завдання більш диференційованої геометричної складової обробки [3]. Також економічні вимоги одночасної обробки всіх сторін заготовки (крім базової) не дають змоги розбити процес обробки на декілька більш простих етапів. Більш складні прямі та зворотні задачі кінематики для складного криволінійного руху виконавчого органу верстату стають все більш складними для обчислення.

PROBLEM STATEMENT

Kinematic analysis puts the goal of identifying laws of incoming links controlled movements on the machine guides and related repositioning of parts of the rod system with mobile platform. A significant complication of process calculation of direct and inverse kinematics problems of the EE intricate curved motion requires finding algorithms of calculation for surface of any complexity

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Кінематичний аналіз ставить за мету визначення законів керованих переміщень вхідних ланок приводів на напрямних верстату і відповідних переміщень ланок стрижневої системи з рухомою платформою. Значне ускладнення процесів обчислення прямої та зворотної задач кінематики складного криволінійного руху виконавчого органу верстату вимагає знаходження алгоритмів обчислення для поверхні будь-якої складності.

MAIN ARTICLE

The task of machining complex curvilinear profiles require pre-determine how to play the given curves and surfaces [3].

Spatial curves formed by movement of a point with three degrees of freedom. In three-dimensional workspace can be implemented any trajectory and cutting scheme inscribed in the parallelepiped subject to coordinated operation of machine table and the movable platform that carrying an end-effector EE (tool) [4]. So you need to study the patterns of movements of the rods, as separately for mechanism of parallel structure MPC rod system on the machine guides, and together with the movement of the workpiece on the machine-tool table (fig 1).

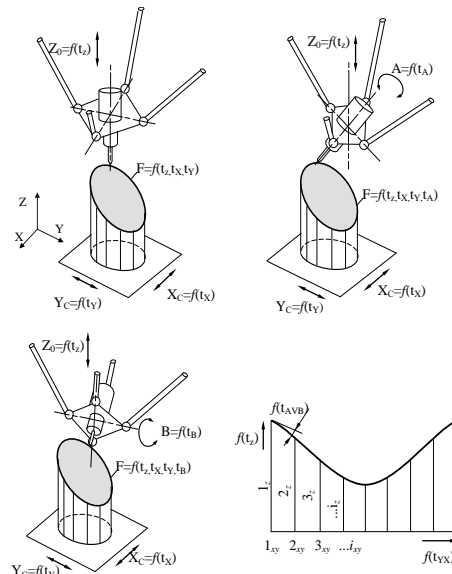


a)

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Задачі механічної обробки складних криволінійних профілів потребують попереднього визначення способу відтворення заданих кривих ліній і поверхонь [3].

Просторові криві утворюються рухом точки з трьома ступенями свободи. В тривимірному робочому просторі можуть бути реалізовані будь-які траєкторії і схеми різання вписані в паралелепіпед за умови узгодженої дії верстатного столу і рухомої платформи, що несе виконавчий орган ВО (інструмент) [4]. Тому потрібно вивчити закономірності переміщень штанг, як окремо для стрижневої системи механізму паралельної структури МПС на напрямних верстату, так і спільно з переміщеннями заготовки на верстатному столі (рис.1)



b)

Fig. 1 – Pyramidal type drill-milling machine with MPC: a) – the prototype of the machine b) – possible control schemes of EE for spatial trajectories, and relationships of controlled variables in the kinematic model [5, 6] / Свердлильно-фрезерний верстат з МПС пірамідальної компоновки а) – виготовлений дослідний зразок; б) – імовірні схеми керування ВО по просторовим траєкторіям і взаємозв'язок керованих змінних в кінематичній моделі [5, 6]

The following terms of simulation processing are proposed:

- the trajectory and the sequence of reference points for machine tool table is defined by exclusion from the equation of spatial line F coordinates Z and corresponds to the parametric equation of the projection of the spatial line F ;
- anchor points in the trajectory of the mobile platform centre correspond to the excluded coordinate Z ;
- controlled movement of the mobile platform by appropriate linear or non-linear law $Z_0=f(t_z)$ and, with, if necessary, control the angular position of the platform $A=f(t_A)$ or $B=f(t_B)$;
- relationship of controlled variables t_Y, t_X, t_Z, t_A, t_B given parametrically, as the set of families of geometric objects;
- joints coordinates are calculated in the machine based coordinate system with taken into account the position of the mobile platform Z_0 ;
- relevant slides positions on the machine guides

В результаті запропоновані наступні умови моделювання обробки:

- траєкторія і послідовність опорних точок для верстатного столу задається виключенням із рівняння просторової лінії F координати Z і відповідає параметричним рівнянням проекції просторової лінії F ;
- опорні точки в траєкторії центру рухомої платформи відповідають виключеній координаті Z ;
- кероване переміщення рухомої платформи відбувається з відповідним лінійним або нелінійним законом $Z_0=f(t_z)$ і при необхідності керуванням кутового положення платформи $A=f(t_A)$ або $B=f(t_B)$;
- зв'язок керованих змінних t_Y, t_X, t_Z, t_A, t_B заданий параметрично, як сукупність сімей геометричних об'єктів;
- виконується розрахунок координат шарнірів в системі координат верстату з урахуванням положення рухомої платформи Z_0 ;
- проводиться пошук відповідних положень повзунів на напрямних верстату аналітичним

are retrieved by analytical method [6].

Determining geometric and mechanical representation of given path (plane curve F) the method of one-parameter families is quite effective [1, 2]. In accordance with this method curve F , which is given by the equation

$$F(x, y) = 0, \tag{1}$$

is defined as the intersection points set of the respective curves α and β belonging to one-parameter families (fig. 2, a)

$$\alpha(x, y, t) = 0 \dots (\alpha);$$

$$\beta(x, y, t) = 0 \dots (\beta). \tag{2}$$

An example of this method and its particular case is widely known in the mathematics representation of the curve (1) in parametric form

$$x = \alpha(t) \dots (\alpha); \quad y = \beta(t) = 0 \dots (\beta), \tag{3}$$

where (α) i (β) – one-parametric family of straight lines parallel to the coordinate axes (fig. 2, b).

Прикладом цього методу та його окремим особистим випадком є широко відоме в математиці подання кривої (1) в параметричній формі

де (α) i (β) – однопараметричні сім'ї прямих ліній, паралельних осям координат (рис. 2, б)

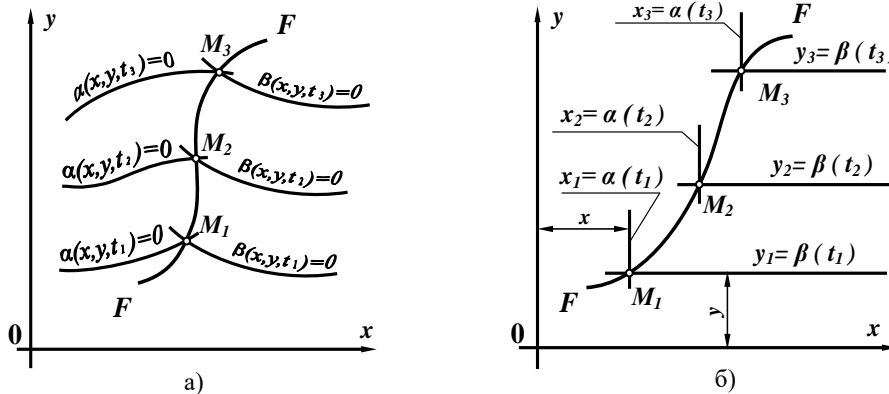


Fig.2 – Parametric families: a) – F in the form of parametric families of curves (equation 2); b) – F in the form of direct parametric families (equation 3) / Параметричні сім'ї: а) – F в формі параметричних сімей кривих (рівняння 2); б) – F в параметричній формі сімей прямих (рівняння 3)

The points of intersection of corresponding lines of families (2) or (3), built at a particular value $t=t_i$, belong to the curve F . Changing t , get a set of points of the curve F .

Equation (1) or (3) are defined so that deleting the parameter t resulted in the equation (1), then the points of intersection of the curves (2) or straight (3) with the same parameter value t (the corresponding curves families) belong to the curve (1). Giving the parameter t various specific values $t=t_1, t_2, t_3 \dots t_i$ get a number of points of this curve.

The purpose of the software processing is identification the points of intersection of curves (2) or straight line (3) that is accepted as the future path of the end-effector EE. It is obvious that the curves (2) can also be either straight lines or circles, which greatly simplifies construction

Adopting advanced derived variable parameter t in the third coordinate $z(t)$, we obtain a spatial geometric model of the method in three-dimensional space with the axes $x, y, z(t)$ – table. 1, fig. 3.

методом [6].

При визначенні способів геометричного та механічного відтворення заданої траєкторії (плоска крива F) досить ефективним є метод однопараметричних сімей [1, 2]. Згідно з ним крива F , яка задана рівнянням

визначається як геометричне місце точок перетину відповідних кривих α i β , що належать до однопараметричних сімей (рис. 2, а)

Прикладом цього методу та його окремим особистим випадком є широко відоме в математиці подання кривої (1) в параметричній формі

де (α) i (β) – однопараметричні сім'ї прямих ліній, паралельних осям координат (рис. 2, б)

Точки перетину відповідних ліній сімей (2) або (3), побудованих при конкретному значенні $t=t_i$, належать до кривої F . Змінюючи t , одержуємо множину точок кривої F .

Рівняння (1) або (3) визначаються так, щоб виключення з них параметра t призводило до рівняння (1), тоді точки перетину кривих (2) або прямих (3) з однаковим значенням параметра t (відповідні криві сімей) належать до кривої (1). Надаючи параметру t різні конкретні значення $t=t_1, t_2, t_3 \dots t_i$, одержують ряд точок цієї кривої.

Задачею програмної обробки є визначення точок перетину кривих (2) або прямих (3), що буде прийнято як майбутня траєкторія виконавчого органу ВО. Очевидно, що криві (2) також можуть бути прямими лініями або колами, що значно спрощує побудови.

Прийнявши додатково виведений змінний параметр t за третю координату $z(t)$, одержимо просторову геометричну модель методу в тривимірному просторі з осями $x, y, z(t)$ – табл. 1, рис. 3.

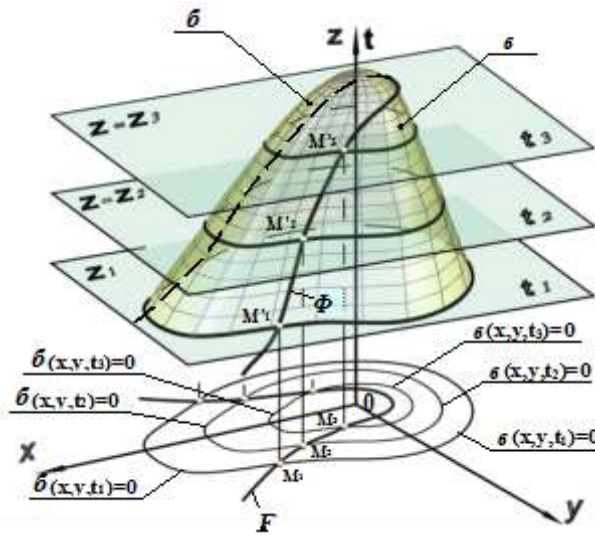


Fig. 3 - The geometrical model of calculation of trajectories of the lathe table and mechanism of parallel structure mobile platform / Геометрична модель розрахунку траєкторій верстатного столу і рухомої платформи механізму паралельної структури

Table 1

Equations / Рівняння	Geometric interpretation of the equations / Геометрична інтерпретація рівнянь	
	On the plane xOy / На площині xOy	In 3-dimensional space xOyt / В 3-вимірному просторі xOyt
$F(x, y)=0$	The specified curve F / Задана крива F	Cylindrical surface f the line Φ on the plane xOy (curve F guide – f surface) / Циліндрична поверхня f лінію Φ на площину xOy (крива F – напрямна поверхні f).
$\alpha(x, y, t)=0 \dots (\alpha)$ $\beta(x, y, t)=0 \dots (\beta)$	One-parameter family of curves (α) / Однопараметрична сім'я кривих (α) The family of curves (β) / Сім'я кривих (β)	Surface α / Поверхня α Surface β / Поверхня β
$\Phi \begin{cases} \alpha(x, y, t)=0 \dots (\alpha) \\ \beta(x, y, t)=0 \dots (\beta) \end{cases}$	The curve families mesh (α) i (β); when $t=t_i$ / Сітка кривих сімей (α) i (β); при $t=t_i$	Line Φ of intersection of the surfaces α and β ; / Лінія Φ перетину поверхонь α i β ;
$t=t_1, t_2, t_3 \dots t_i$	M_i the intersection of the respective curves of these families / M_i перетину відповідних кривих цих сімей	Horizontal clipping planes / Горизонтальні січні площини.

The analytical model description and geometric nature of the distribution of the agreed management development coordinate machine-tool table and movable platform MPS with EE.

Equation (α) and (β) of (2) and (3) show the surface that intersect in space curves.

Модель аналітичного описання і геометрична сутність розподілу узгодженого керування відпрацюванням координат верстатного столу і рухомої платформи МПС з ВО.

Рівняння (α) і (β) систем (2) або (3) виражають поверхні, які перетинаються по просторових кривих.

$$\Phi \begin{cases} \alpha(x, y, t)=0 \\ \beta(x, y, t)=0 \end{cases} \text{ or / або } \Phi \begin{cases} x=\alpha(t) \\ y=\beta(t) \end{cases} \quad (4)$$

A given curve for processing F is the projection of line f on the plane xOy (eliminate the parameter t corresponds to the projection operation in the direction of the axis Ot). The provision of specific t parameter values $t=t_1, t_2, t_3 \dots$ consistent with the conduct of horizontal planes that intersect the surface of α and β on the curve (α) and (β).

Geometric model representation of a method of forming trajectories VO machine with MPS is an illustration of the analytical record and is known in des-

Задана крива для обробки F є проекцією лінії Φ на площину xOy (виключення параметра t відповідає операції проєціювання в напрямі осі Ot). Надання параметру t конкретних значень $t=t_1, t_2, t_3 \dots$ відповідає проведенню горизонтальних площин, які перетинають поверхні α і β по кривих (α) і (β).

Геометрична модель методу представлення формують траєкторій ВО верстату з МПС є ілюстрацією і аналітичним записом відомого з нарисної геометрії способу допоміжних січних

criptive geometry as the method of auxiliary clipping planes. Thus, the introduction of an additional parameter t puts the solution of the flat two-dimensional problem into three-dimensional space. As a result of the use of spatial models allows solving two-dimensional problems and simplifies these solutions

To solve the position problems, we set up a system of equations that linking the geometrical positions of the support hinges on the mobile platform and the support hinges on the machine guides. The calculation of the positions of the kinematic chain in the plane ZOХ

$$\begin{cases} x_k = K_1 \cdot (z - z_1) + y_1 & (k = 2) \\ (x - x_{0i})^2 + (z - z_{0i})^2 = l_i^2 & (i = 2), \end{cases} \quad (5)$$

The calculation of the positions of the kinematic chain in the plane ZOУ

$$\begin{cases} y_k = k_2 \cdot (z - z_1) + x_1 & (k = 2) \\ (y - y_{0i})^2 + (z - z_{0i})^2 = l_i^2 & (i = 2), \end{cases} \quad (6)$$

where / ∂e $K_1 = \frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1}$; $K_2 = \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}$.

Assuming that the EE position exists in the workspace, if there are real roots x, y, z of the system (5), which represents the line intersection that defines the guide position in space as a straight line by given two points $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$ and circles with radius equal to the length of the rod l with the coordinates of the centers of the hinges on the mobile platform (x_0, y_0, z_0) ; k is the number of the guides; i – the number of rods.

Solution of the systems (5) and (6) with respect to z is

$$z_{i(1,2)} = \frac{-S_2 \pm \sqrt{S_2^2 - 4S_1 \cdot S_3}}{2S_1}, \quad (7)$$

where / ∂e

$$\begin{aligned} S_1 &= (1 + K_1^2); & S_2 &= 2klx_1 - 2x_0kl - 2kl^2z_1 - 2z_0l; \\ S_3 &= -L^2 + x_1^2 + k^2l^2z_1^2 - 2klz_1x_1 + x_0^2 + 2x_0klz_1 - 2x_0x_1 + z_0^2. \end{aligned}$$

After the calculation (7) the guides (sliders) coordinates by axes x, y and L -coordinates of the carriages on the machine rails are determined, as well as their position on the guides by the equation of the straight line passing through two points:

$$L_{ixz} = \sqrt{(K_1 \cdot (z_i - z_1) + x_1)^2 + z_i^2}, L_{iyz} = \sqrt{(K_1 \cdot (z_i - z_1) + y_1)^2 + z_i^2}. \quad (8)$$

The machine-tool EE provides the assessment of the machine sliders positions on the rails (the inverse kinematics problem), then movement them to the appropriate position (forward kinematics problem). Last problem main dependencies also support the equations (5) and (6) system with the replacement of the unknown parameters. Instead of the L -coordinate of the slider, the unknown parameters are joints the coordinates of the joints located

площин. Таким чином, введення додаткового параметра t переводить рішення плоскої двовимірної задачі в тривимірний простір. В результаті використання просторової моделі дозволяє вирішувати двовимірні задачі і спрощує ці рішення.

Для розв'язання задач про положення складемо систему рівнянь, що зв'язує геометрично положення опорних шарнірів на рухомій платформі і на напрямних верстата: Розрахунок положень кінематичних ланок в площині ZOХ

$$\begin{cases} x_k = K_1 \cdot (z - z_1) + y_1 & (k = 2) \\ (x - x_{0i})^2 + (z - z_{0i})^2 = l_i^2 & (i = 2), \end{cases} \quad (5)$$

Розрахунок положень кінематичних ланок в площині ZOУ

Прийнято, що положення ВО існує в робочому просторі, якщо існують дійсні корні x, y, z системи (5), яка представляє перетин лінії, що визначає напрямну в просторі, - пряма задана двома точками $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$ і кола радіусом, що дорівнює довжині штанги l з координатами центрів шарнірів на рухомій платформі (x_0, y_0, z_0) ; k – кількість напрямних; i – кількість штанг.

Вирішенням систем (5) і (6) відносно z буде

Після обчислення (7) визначаються координати кареток (повзунів) по осях x і y та L -координати кареток на напрямних верстата, як їх положення на напрямній по рівнянню прямої, що проходить через дві точки:

Керування ВО верстату передбачає оцінку положень повзунів на напрямних верстата (зворотня задача) з подальшим переміщенням їх у відповідне положення (пряма задача). В задачах прямої кінематики основними розрахунковими залежностями також виступають система рівнянь (5) і (6) з заміною шуканих параметрів. Замість L -координат кареток, ними будуть координати шарнірів, що розташовані на рухомій платформі. В цьому випадку за-

on the mobile platform. In this case we set the linear law of sliding blocks linear displacement on the machine rails and is finding the intersection of the rods with imaginary trajectories of the joints, that is worked out by machine controller. Simultaneous control of linear and angular coordinate of the mobile platform center gives the possibility of implementation of any type of flat trajectory within the working area.

The calculation algorithm using equations (5) and (6) allows to get regularity of the movements of sliding blocks on the machine rails of the machine tool with parametrically defined curves that is needed to be followed by the cutting edge of the tool. For example, if the trajectory has the equation of the cycloid $x=h_i(t-\sin t)$, $z=h_i(1-\cos t)$, the law of machine-tool sliders movement along the guide rails is

$$\begin{cases} x_k = K_1 \cdot (z - z_1) + y_1 & (k = 2) \\ (x - h_i \cdot (t - \sin t))^2 + (z - h_i \cdot (1 - \cos t))^2 = l_i^2 & (i = 2). \end{cases} \quad (9)$$

The drill-milling machine-tool composition with MPS pyramidal structure supplemented with two crossed table for coordinates X and Y at the base of the pyramid and all formative movements EE implemented by their relative manipulation. Therefore, the solution of forward and reverse kinematics problems should be carried out taking into account the controlled movement of the workpiece and EE on MPS mobile platform according to given tool trajectory.

CONCLUSIONS

Determining the methods of geometric and mechanical reproduction tool trajectory set, a mathematical method of one-parametric families is effective description for creating a high-performance hybrid structures machinery with the mechanisms of the parallel structure. Obtained dependence relationship geometrical parameters of kinematic links make it possible to perform simulations and positions assessment of the sliders and their centers adopted in accordance with design features of the machine-tool for a wide range of trajectories - flat and spatial lines that can be given parametrically. This assessment is required for the study of machines adopted kinematic scheme, as well as for the construction and improvement of structures that already designed.

REFERENCES

- [1]. Berger E.G. (2006) - Geometric synthesis devices for processing complex geometry parts / E.G. Berger, D.O. Dmytriev, E.E. Berger - Bulletin of Kherson National Technical University. 2006. №2 (25) - p. 52-55.
- [2]. Berger E.G. (2006) - Modeling method of parametric families - E.G. Berger, D.O. Dmytriev - Geometrical and computer modeling. 2006. №15 Kharkiv HDUHT. , p. 114-120.
- [3]. Druzhynskyy I.A. (1985) - Processing technique

дається лінійний закон переміщень повзунів на напрямних верстату і відбувається пошук перетину штанг відповідної довжини з уявними траєкторіями шарнірів, що повинні бути відпрацьовані контролером верстату. Одночасне керування лінійною і кутовою координатою центру рухомої платформи дає можливість реалізувати будь-які плоскі траєкторії у межах робочої зони.

Алгоритм розрахунку за допомогою рівнянь (5) і (6) дозволяє отримати закономірність переміщень повзунів на напрямних верстата при параметрично заданих кривих, що необхідно відтворити різальною кромкою інструменту. Наприклад, якщо траєкторія має рівняння циклоїди $x=h_i(t-\sin t)$, $z=h_i(1-\cos t)$, закон переміщень повзунів по напрямним верстата складе

Загальна компоновка свердлильно-фрезерний верстат з МПС пірамідальної компоновки доповнена двокоординатним хрестовим верстатним столом для координат X і Y в основі піраміди і всі формуючі рухи ВО реалізуються за рахунок їх відносного маніпулювання. Тому розв'язок прямої і зворотної задач кінематики необхідно проводити з урахуванням керованих переміщень заготовки і ВО на платформі МПС згідно заданої траєкторії інструменту.

ВИСНОВКИ

При визначенні способів геометричного та механічного відтворення заданої траєкторії інструменту математичний метод однопараметричних сімей є ефективним описом для створення високопродуктивних гібридних структур верстатного обладнання з механізмами паралельної структури. Отримані залежності взаємозв'язку геометричних параметрів кінематичних ланок дають можливість виконувати моделювання і оцінку положень повзунів і центрів шарнірів згідно прийнятих конструктивних ознак верстату для широкого кола траєкторій – плоских і просторових ліній, що можуть бути задані параметрично. Дана оцінка необхідна як для вивчення закономірностей прийнятої кінематичної схеми верстату, так і для побудов і удосконалення структур, що проектуються.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Бергер Е.Г. (2006) Геометричний синтез пристроїв для обробки складнопрофільних деталей - Е.Г. Бергер, Д.О.Дмитрієв, Є.Е. Бергер - Вісник Херсонського національного технічного університету. - 2006. - №2(25) - С. 52-55.
- [2]. Бергер Е.Г. (2006) -Моделювання методу параметричних сімей - Е.Г. Бергер, Д.О. Дмитрієв - Геометричне та комп'ютерне моделювання. 2006.- №15 - Харків:ХДУХТ. -, С. 114-120.
- [3]. Дружинский И.А. (1965) - Методы обработки

of complex surfaces on metal-cutting machine-tools.-L. Engineering, 1965.-600p.

[4]. Dmytriev D.O. (2011) Komponentyka machines with mechanisms of parallel structure, Scientific journal "Technological complexes", №3, 2011

[5]. Dmytriev D.O. (2015) New layout and kinematic drill-milling machines with parallel structure mechanisms-, Scientific journal "Technological complexes", №3, 2011

[6]. Kuznetsov Y. M. (2010) Frame layout drill-milling machines with mechanisms of parallel structure - Y.M. Kuznetsov, D.O. Dmytriev, Fyranskiy V. B. Scientific journal "Technological complexes", №1, 2010

[7]. Kuznetsov Y. M. (2009) - Compositions of machines with mechanisms of parallel structure: Monograph. Y.M. Kuznetsov, D.O. Dmytriev, G.U.Dinevych - Kherson: P.P. Vyshemyrskyy, 2009. - 456 p., p. 322-330.

сложных поверхностей на металлорежущих станках.- Л: Машиностроение,1965.-600 с.

[4]. Дмитрієв Д.О. (2011) Компонетика верстатів з механізмами паралельної структури, Науковий журнал «ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ», №3, 2011.

[5]. Дмитрієв Д.О., (2015) Нові компоновки свердильно-фрезерних верстатів з механізмами паралельної структури, Науковий журнал «ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ» №1 (11), 2015

[6]. Кузнецов Ю.М., (2010) Каркасні компоновки свердильно-фрезерних верстатів з механізмами паралельної структури Ю.М. Кузнецов, В.Б. Фіранський, Д.О. Дмитрієв, Науковий журнал «ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ», №1, 2010

[7]. Кузнецов Ю.М. (2009) - Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія. Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич–Херсон: ПП Вишемирський, 2009. – 456 с. С. 322-330