

УДК 621.9.06

Ю.М. Кузнєцов, О.О. Степаненко, М.Ю. Манжола

## АЛГОРИТМ СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТАМИ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ

*На прикладі діючої моделі верстату пірамідальної компоновки покроково описано алгоритм створення універсального математичного апарату для керування механізмами паралельної структури різноманітних компоновок.*

**Вступ.** Існують різні погляди щодо доцільності використання механізмів паралельної структури (МПС) в сучасному технологічному обладнанні. І це очевидно, оскільки поряд із багатьма перевагами таких механізмів мають місце і певні ускладнення при їх створенні та використанні. Однак, не дивлячись на це, немало вчених по всьому світу невпинно працюють над вивченням і дослідженням МПС. Доказом цього є поступове впровадження різноманітного обладнання на основі МПС у виробництво, де воно займає тверді позиції і стає незамінним при виконанні багатьох складних, нестандартних операцій. Мова йде про такі сфери, як робототехніка, медицина, авіація, космонавтика, астрономія, кіноіндустрія та, звичайно, машинобудування. Саме в машинобудуванні, і зокрема у верстатобудуванні, МПС піддаються найбільшій критиці. І одним з предметів нарікань є складність керування такими машинами. Однак, науковий прогрес не стоїть на місці. Якщо тридцять років тому система керування МПС була надзвичайно дорогою і недосконалою, то сьогодні вона може бути побудована на основі звичайного комп'ютера і бути при цьому в десятки разів дешевшою і досконалішою.

**Основна частина.** Серцевиною системи керування верстатом з МПС є математичний апарат, який містить в собі описання геометричних особливостей кожної окремої компоновки. Відповідно для кожної нової кінематичної компоновки необхідний свій математичний апарат, навіть, якщо нова компоновка не набагато відрізняється від попередньої. Адже верстат з МПС – це складна геометрична фігура, для правильної роботи якої мають бути враховані всі її параметри.

Розглянемо алгоритм створення математичного апарату на прикладі верстату з МПС пірамідальної компоновки. Верстат (рис.1) [1] являє собою діючий макет, який створений авторами з метою вивчення і дослідження функціональних можливостей, кінематичних та динамічних характеристик даного типу обладнання, а також для використання у навчальному процесі.

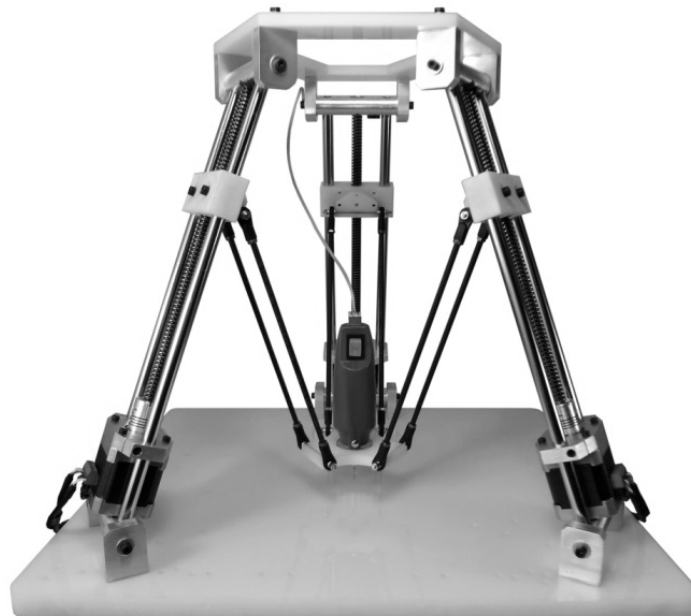


Рис.1. Діючий макет верстату з МПС пірамідальної компоновки

Верстат побудований на модульному принципі і складається з трьох однакових модулів лінійного переміщення [2, 3], які сполучають між собою нижню і верхню основи верстату, утворюючи каркас у формі усіченої тригранної піраміди. Лінійні модулі приводять до руху каретки, забезпечуючи робочі

переміщення виконавчого органу – платформи, і водночас будучи несучою системою верстату. Каркас зроблений у формі піраміди з метою підвищення жорсткості. Рухома платформа з'єднана з каретками модулів за допомогою паралелограмних штанг постійної довжини. У якості шарнірів використовуються сферичні опори з трьома ступенями вільності. На платформі встановлений виконавчий орган – мотор-шпindel. Платформа має три ступені вільності і може рухатися трьома лінійними координатами X, Y та Z.

Не дивлячись на те, що верстат має лише три координати, математичний апарат для його керування є досить складним, оскільки форма верстату відрізняється від традиційних триглайдів, у яких всі напрямні розташовані або перпендикулярно до нижньої основи, або лежать паралельно їй [4]. У даному випадку напрямні розташовані під кутом до основи. Це означає, що в залежності від того, на якій висоті буде рухатися платформа, змінюватимуться швидкості і закони руху кареток. Наприклад, для того, щоб платформа рухалась однаково на різних висотах, рухи кареток повинні бути різні, в залежності від їх положення на гранях піраміди.

Для створення апарату керування конкретним типом верстату необхідно точно знати розміри та координати його ключових ланок. Ці дані вводяться в математичний апарат, який обчислює траєкторію руху виконавчого органу. Для даного типу верстату не достатньо знати лише лінійні розміри його ланок, необхідно також знати координати певних точок верстату, які можуть бути розташовані, наприклад, в середині деталі. Як наслідок, виміряти усі ці розміри на реальній фізичній моделі верстату або дуже важко, або зовсім не можливо, тому, як варіант, запропоновано метод вимірювання за допомогою 3D моделі. Точність вимірювань буде залежати від того, наскільки 3D модель відповідає реальній. Для цього була створена точна 3D копія нашого верстату (рис.2).



Рис.2. 3D копія верстату пірамідальної компоновки

Оскільки верстат відрізняється від традиційних триглайдів тим, що його напрямні розміщені під кутом, то для правильного обчислення математичного апарату виникає необхідність встановити положення напрямних у просторі. Це можна зробити двома способами: виміряти кут нахилу напрямних або встановити координати точок їх початку і кінця. Був обраний другий спосіб, оскільки він є більш універсальним і може бути використаний для будь-якої компоновки верстату з будь-яким розміщенням напрямних. Крім того, знаючи координати початку і кінця напрямних, обчислення математичного апарату стає простішим, тобто математичний вираз буде коротшим.

Задача математичного апарату полягає в тому, щоб встановити залежність між переміщенням кареток модулів і переміщенням платформи, тобто необхідно знати, на яку відстань перемістити каретки для того, щоб платформа зайняла необхідну позицію в системі координат. Верстат має три приводи, тому, відповідно, необхідні три математичних вирази для опису залежності руху кожного з приводів. Але оскільки верстат має три площини симетрії, то ці вирази будуть однакові.

На рис. 3 зображена геометрична модель верстату, на якій видно усі точки і ланки, що використовуються для розрахунку математичного апарату.

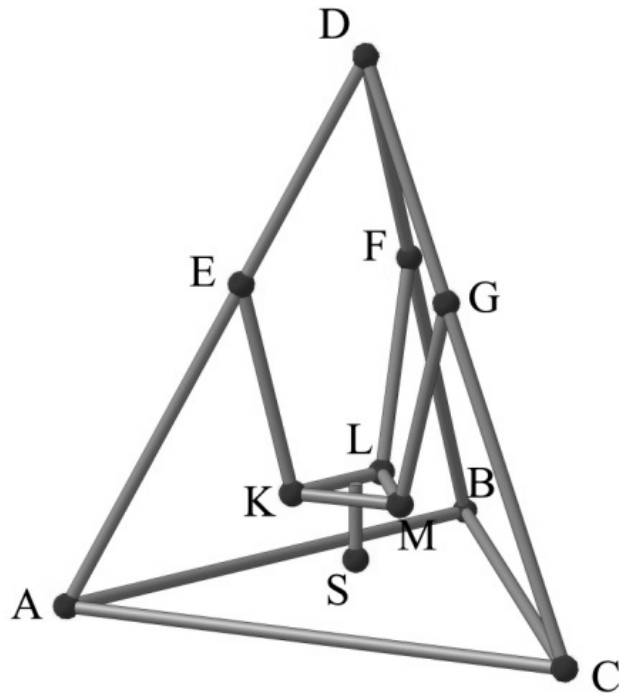


Рис.3. Геометрична модель верстату

Для обчислення математичного апарату нам необхідно мати наступні дані:

1. Координати точок A, B, C – початки напрямних (причому маються на увазі не фізичні напрямні, а напрямні траєкторії, якими рухається центр сферичного шарніру), D – вершина, в якій вони перетинаються.
2. Довжини штанг EK, FL і GM.
3. Координати центрів шарнірів K, L і M.

Точка S виражає координати інструменту. У нульовому положенні платформи вона лежить в площині трикутника ABC і є рівновіддаленою від його вершин. При цьому відрізки AE, BF і CG є рівними. Центр трикутника ABC – нуль системи координат.

Розглянемо розрахунок математичного апарату для одного з приводів (рис.4).

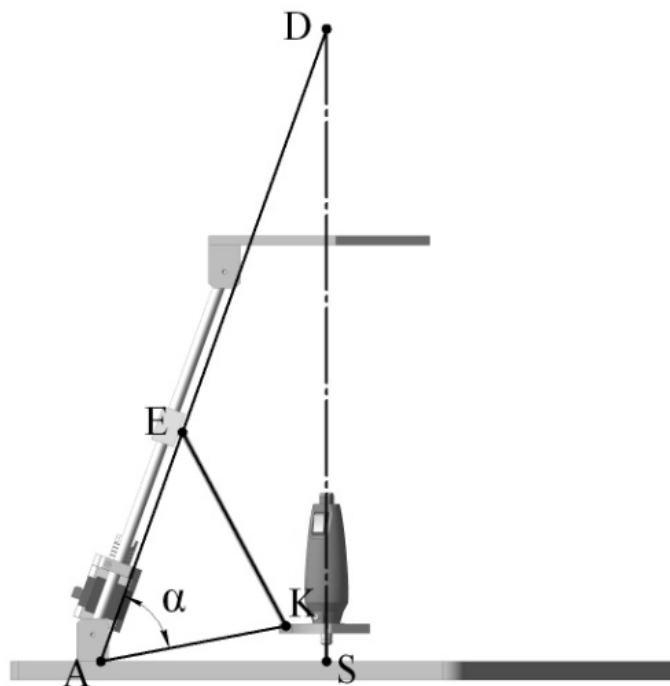


Рис.4. Геометрична структура верстату (один модуль)

Задача полягає в тому, щоб математично описати залежність між координатами точки  $S(x, y, z)$  і довжиною відрізка  $AE$ . Для цього розглянемо трикутник  $AЕК$ . В цьому трикутнику відомий лише відрізок  $EК$  (довжина штанги), але також можна знайти довжину відрізка  $AK$ , знаючи координати точки  $K$  (залежно від координат точки  $S$ ). Для обчислення довжини  $AE$  не вистачає величини кута  $\alpha$ . Але її можна знайти, знаючи координати векторів  $\vec{AK}$  і  $\vec{EK}$ . Отже, обчисливши дві сторони і один з кутів трикутника  $AЕК$ , знаходиться третя його сторона  $AE$  за формулою:

$$\cos^2 \alpha = EK^2 - (AK^2 \sin^2 \alpha)$$

де  $\sqrt{(x+x_K-x_A)^2 + (y+y_K-y_A)^2 + (z+z_K-z_A)^2}$ ;

$$\cos^2 \alpha = x_D - x_A \sqrt{(x+x_K-x_A)^2 + (y+y_K-y_A)^2 + (z+z_K-z_A)^2} + (y_D - y_A) \sqrt{(x+x_K-x_A)^2 + (y+y_K-y_A)^2 + (z+z_K-z_A)^2} + (z_D - z_A) \sqrt{(x+x_K-x_A)^2 + (y+y_K-y_A)^2 + (z+z_K-z_A)^2} ;$$

$$\sin^2 \alpha = 1 - (\cos^2 \alpha) ;$$

$x, y, z$  – координати точки  $S$ ;

$x_A, y_A, z_A$  – координати точки  $A$ ;

$x_K, y_K, z_K$  – координати точки  $K$ ;

$x_D, y_D, z_D$  – координати точки  $D$ .

Далі, підставивши замість змінних конкретні значення, матимемо цілісний математичний апарат керування для одного з приводів верстату (інші два будуть аналогічні і відрізнятимуться тільки значеннями і знаками). Отримана формула має досить довгий вигляд, тому, підставивши конкретні значення замість змінних, її доцільно спростити за допомогою математичного пакету, наприклад, такого як Mathcad або Maple.

Після спрощення математичний апарат можна використовувати для керування верстатом у складі керуючої комп'ютерної програми, наприклад, такої як Mach3 або EMC2 [5]. Для цього формулу необхідно записати у програмному вигляді. Нижче наведений приклад такої формули з конкретними значеннями для верстату (Рис.1):

$$0.2961*x+0.1709*y+0.9397*z+\sqrt{0.1012*x*x-0.9122*x^2+0.5566*x*z-216.1161*x-0.9707*y^2+0.3213*y*z-124.7167*y-0.1169*z^2+90.8119*z+25641.3446}-160.1293=0.$$

Підставивши замість  $x, y, z$  координати точки  $S$ , в конкретний момент часу матимемо величину, на яку необхідно перемістити каретку, щоб платформа зайняла ці самі координати  $x, y, z$ . Для цього мають працювати три приводи одночасно, відпрацьовуючи результат обчислення кожної з формул.

**Висновок.** Наведено приклад створення універсального математичного апарату для керування верстатом з МПС пірамідальної компоновки. В результаті, базуючись на даному прикладі, можливо створити індивідуальний математичний апарат, причому не тільки для верстатів аналогічної кінематичної будови, але й з будь-яким іншим розташуванням напрямних.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Патент України на винахід №86533. Багатокоординатний свердлильно-фрезерний верстат. Кузнецов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Діневич Г.Ю. МПК В23Q 1/00, В23В 39/00, опубл. 27.04.2009, бюл. №8
2. Патент України на корисну модель №68238. Модуль лінійного переміщення. Кузнецов Ю.М., Степаненко О.О. МПК В23Q 5/00, В23С 1/00, опубл. 26.03.2012, бюл. №6
3. Кузнецов Ю.Н., Степаненко А.А. Модульный принцип создания настольных фрезерных станков, управляемых от компьютера. Вестник СевНТУ №117, Севастополь – 2011. – С.85-89.
4. Кузнецов Ю.Н., Дмитриев Д.А., Диневич Г.Е. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Под ред. Ю.Н. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирский В.С., 2010. – 471 с.
5. Кузнецов Ю.М., Степаненко О.О. Настільні фрезерні верстати, керовані комп'ютером // Науковий журнал «Технологічні комплекси», №1, Луцьк, 2010. – С.72-77

КУЗНЕЦОВ Юрій Миколайович – д.т.н, професор кафедри конструювання верстатів та машин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– створення верстатів-автоматів, верстатів з ЧПК і верстатних комплексів нового покоління на модульному принципі, в тому числі з паралельною кінематикою, їх цільових механізмів і технологічного оснащення;

- розвиток методології творчості, креативної системи навчання та ідеології інтелектуальної власності.

СТЕПАНЕНКО Олександр Олександрович – аспірант кафедри конструювання верстатів та машин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- створення комп'ютеризованих верстатів нового покоління, в тому числі з паралельною кінематикою;
- програмно-математичний апарат керування МПС.

МАНЖОЛА Марина Юріївна – аспірант кафедри конструювання верстатів та машин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- інтелектуальні комп'ютерні системи керування верстатами нового покоління, в тому числі з МПС.