

**УДК 621.9.06**

**В.Н. Волошин, канд. техн. наук, доц., В.В. Луців**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ФОРМОУТВОРЮЮЧІ МОЖЛИВОСТІ П'ЯТИКООРДИНАТНОГО  
ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПК**

**V.N. Voloshyn, Ph.D., Assoc. Prof., V.V. Lutsiv**

**SHAPE FORMING CAPABILITIES OF THE FIVE-AXIS CNC MILLING  
MACHINE**

При проектуванні сучасних технологічних процесів обробки деталей складної геометричної форми (формоутворююче оснащення, корпусні деталі, лопатки турбін т ін.) все ширше використовується принцип концентрації операцій. Це робиться з метою скорочення виробничих площ та кількості використовуваного обладнання. Там, де раніше застосовували операційні верстати з максимальною диференціацією процесу обробки на окремі операції, зараз концентрують більшу кількість операцій на одному верстаті. На сьогоднішній день підвищеним попитом користуються п'ятикоординатні фрезерні верстати з ЧПК, які дозволяють у порівнянні із традиційними трикоординтними фрезерними верстатами з ЧПК збільшити кількість робочих площин обробки та забезпечити обробку всіх поверхонь за один установ. Технологічні можливості таких верстатів багато в чому визначаються структурою їх формоутворюючих систем [1]. Тому визначення формоутворюючих можливостей п'ятикоординатних фрезерних верстатів з ЧПК виходячи із структури їх формоутворюючих систем (ФС) є актуальною науковою задачею.

Для опису можливості формоутворення поверхонь технологічним обладнанням може бути використаний варіаційний метод [1], який дозволяє, використовуючи в якості вихідних даних координатний код ФС верстата, отримати рівняння всіх можливих оброблюваних на ньому поверхонь. Модель ФС верстата формується по складу вузлів верстата і опису їх рухів та математично представляється у вигляді функції формоутворення [1, 2]. Важливими елементами ФС є ланки, кожна з яких має локальну систему координат, і зв'язки між сусідніми ланками. Кінцевими ланками формоутворюючої системи служать оброблювана деталь та різальний інструмент.

Розглянемо формоутворюючу структуру п'ятикоординатного фрезерного верстата з ЧПК (рис.1). Оброблювані поверхні розташовані на заготовці, що служить нульовою ланкою ФС верстата. Тоді координатний код ФС, який складається із кодів матриць переміщень і поворотів [1],  $K = 641236$ .

У відповідності з викладеним описом процесу формоутворення та координатного коду ФС, функція формоутворення для ФС п'ятикоординатного фрезерного верстата з ЧПК:

$$\bar{r}_0 = A_{01}^6(\psi) \cdot A_{12}^4(\theta) \cdot A_{23}^1(x) \cdot A_{34}^2(y) \cdot A_{45}^3(z) \cdot A_{56}^6(\varphi) \cdot \bar{r}_6, \quad (1)$$

де  $\bar{r}_6 = [x_6, y_6, z_6, 1]^T$  – радіус-вектор точок різального інструменту;  
 $\bar{r}_0 = [x_0, y_0, z_0, 1]^T$  – радіус-вектор точок різального інструменту в системі координат заготовки;  $A_{01}^6(\psi)$ ,  $A_{56}^6(\varphi)$  – матриці повороту навколо осі  $Z$ ;  $A_{12}^4(\theta)$  – матриця повороту навколо осі  $X$ ;  $A_{23}^1(x)$  – матриця переміщень вздовж осі  $X$ ;  $A_{34}^2(x^2)$  – матриця переміщень вздовж осі  $Y$ ;  $A_{45}^3(z)$  – матриця переміщень вздовж осі  $Z$ .

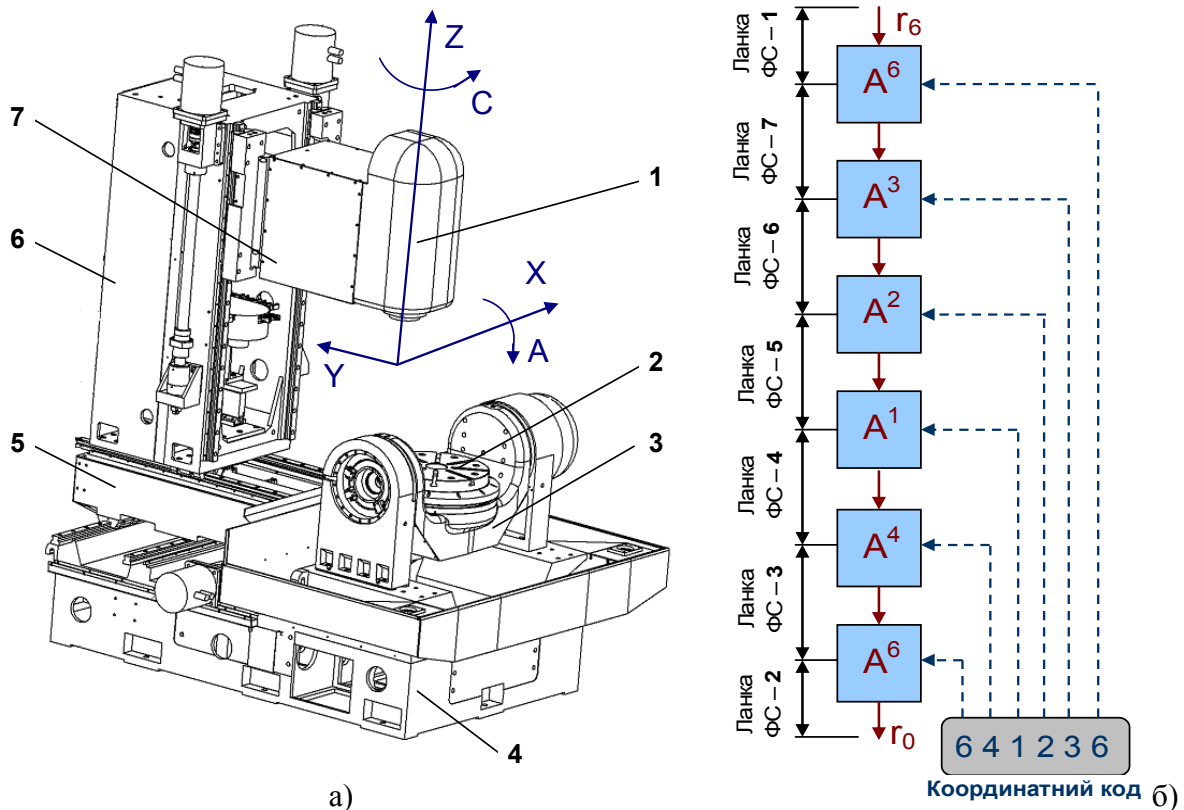


Рисунок 1. Основні вузли (а) та формуюча структура п'ятикоординатного фрезерного верстата з ЧПК: 1 – шпиндель; 2 – вертикальний поворотний стіл; 3 – горизонтальний поворотний стіл; 4 – основа; 5 – поперечний стіл; 6 – рухома стійка; 7 – шпиндельна бабка

Перемноживши матриці по правилах матричного аналізу отримаємо функцію формоутворення:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \sin \psi \sin \theta & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & -\cos \psi \sin \theta & a_{24} \\ \sin \theta \sin \varphi & \sin \theta \cos \varphi & \cos \theta & z \cos \theta + y \sin \theta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_6 \\ y_6 \\ z_6 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де  $a_{11} = \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi$ ;  $a_{12} = -\cos \psi \sin \varphi - \sin \psi \cos \theta \cos \varphi$ ;  
 $a_{14} = z \sin \psi \sin \theta - y \sin \psi \cos \theta + x \cos \psi$ ;  $a_{21} = \sin \psi \cos \varphi + \cos \psi \cos \theta \sin \varphi$ ;  
 $a_{22} = -\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \theta \cos \varphi$ ;  $a_{24} = -z \sin \psi \sin \theta + y \cos \psi \cos \theta + x \sin \psi$

Отримана функція ФС (2), моделі різальних інструментів [1, 3] та аналіз системи зв'язків дозволив отримати перелік всіх можливих оброблюваних поверхонь, оцінивши таким чином спектр формуючих можливостей п'ятикоординатного фрезерного верстата з ЧПК.

### Література.

1. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков/ Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Portman V. Form-Shaping Systems of Machine Tools: Theory and Applications/ V. Portman, I. Inasaki, M. Sakakura, M. Iwatate// Annals of the CIRP – Vol. 47/1 – 1998 – pp.329-332.
3. Ивахненко А.Г. Точность формообразования на гексаподах/ А.Г. Ивахненко, О.Н. Подленко// СТИН – 2007 – №9. – С. 2 – 6.