

Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 1999. – 270с. **5.** Кликушин Ю.Н. Технологии идентификационных шкал в задаче распознавания сигналов // Монография. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006 - 96с. **6.** Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов: Монография. – Петропавловск, СКГУ им. М.Козыбаева, 2007. – 186с. **7.** Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Алгоритм классификации сигналов автоматизированных систем.// Сб. Тр. XIII Межд.науч. – техн. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века». – Донецк: ДонГТУ, 2006 – Т.2, С.163-167.

Сдано в редакцию 17.01.08

## **ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ РУХІВ МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ВЕРСТАТАХ НОВИХ КОМПОНОВОК**

**Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О.**

(НТУУ "КПІ", ХНТУ, м. Київ, м. Херсон, Україна)

*Based on the parallel mechanism, a new technological machine is presented in this paper. The virtual prototype modelling and the kinematic simulation parallel milling cone surface are described. The virtual prototype simulation can help in the parametric design and the structural design for the new machine tool*

Однією із світових тенденцій верстатобудування є створення нових компоновок верстатів з мехатронними елементами, що об'єднують засоби механіки, електроніки та електротехніки [1, 2], тому перспективним напрямком удосконалення механізмів технологічного обладнання є їх побудова на основі:

- передачі потоку рухів і сил декількома кінематичними ланцюгами шляхом раціонального перерозподілу рухів та навантажень між ними;
- реалізації паралельної передачі енергії декількома кінематичними ланцюгами та механізмами;
- створення замкнених кінематичних ланцюгів, які відтворюють замкнений контур підвищеної жорсткості;
- побудови безконсольних конструкцій механізмів.

Отже, удосконалення, створення та проектування високоефективних механізмів може формуватись на наступних положеннях (рис.1).

Послідовне, паралельне та паралельно-послідовне з'єднання (рис. 2) і розташування механізмів в структурі технологічного обладнання у загальному енергетичному потоці від ведучої до веденої кінематичної ланки впливає майже на усі параметри функціонування технологічного обладнання: точність позиціонування, жорсткість, динамічні характеристики, коефіцієнт корисної дії (ККД) [3].

Розглянемо вплив відповідного з'єднання механізмів на коефіцієнт корисної дії механічної системи технологічного обладнання.

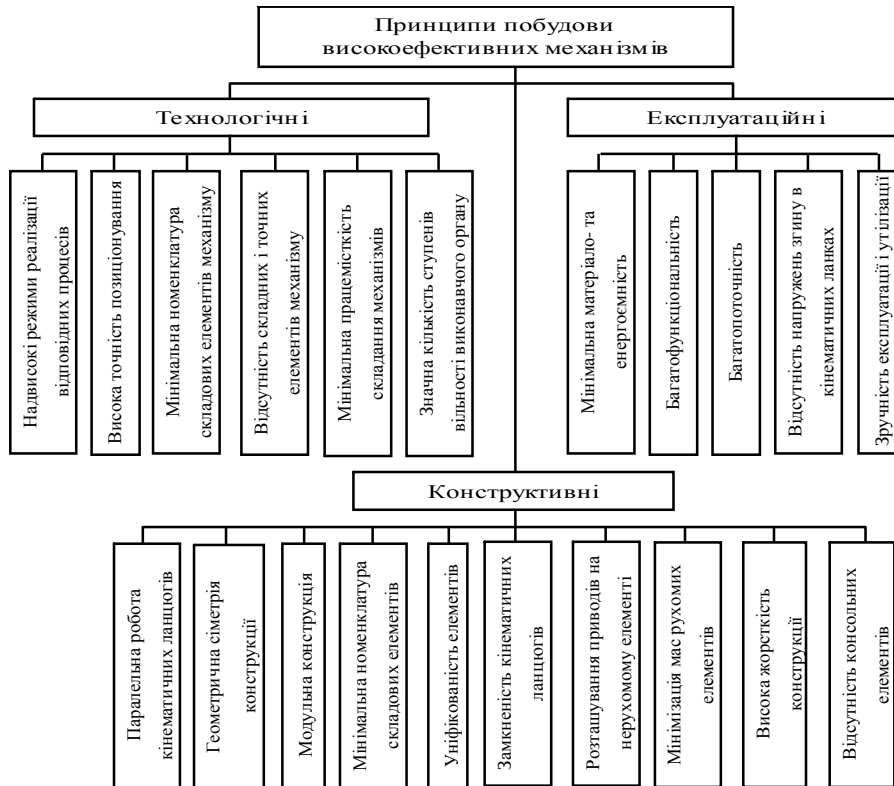
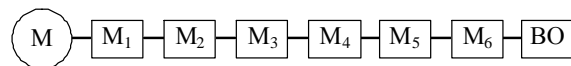
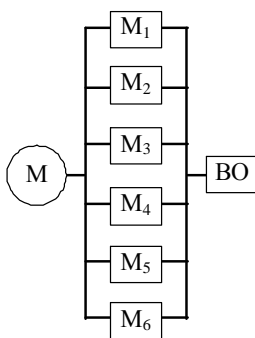


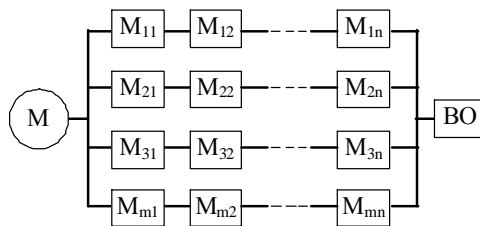
Рис.1. Вимоги та принципи побудови високоєфективних механізмів



а)



б)



в)

Для послідовного з'єднання  $n$  механізмів  $M_1...M_6$  (рис.2, а) з коефіцієнтом корисної дії  $\eta_1... \eta_6$ .

Перший механізм  $M_1$  витрачає роботу сил  $A_1$  та виконує роботу, яка визначається за формулою:

$$A_2 = A_1 \eta_1.$$

Другий механізм  $M_2$  витрачає роботу рухомих сил  $A_3$  та виконує роботу

$$A_3 = A_2 \eta_2 \text{ або } A_3 = A_1 \eta_1 \eta_2.$$

В цьому випадку корисна робота  $A_n$  системи механізмів з послідовним з'єднанням:

Рис.2. З'єднання механізмів:  
а) послідовне; б) паралельне;  
в) паралельно-послідовне

$$A_n = A_1 \prod_{i=0}^n \eta_i ,$$

а загальний ККД відносно енергетичного потоку визначається за формулою

$$\eta = \frac{A_n}{A_1} = \prod_{i=1}^n \eta_i .$$

При паралельному з'єднанні  $m$  механізмів  $M_1 \dots M_m$  (рис.2, б) кожний  $k$ -й механізм системи витрачає роботу рухомих сил  $A_k$  та виконує корисну роботу:

$$A_{mk} = A_k \eta_k .$$

Загальна робота рухомих сил, яка витрачається усіма механізмами, визначається як:

$$A = \sum_{k=1}^m A_k .$$

Корисна робота, яку виконує система механізмів з паралельним з'єднанням механізмів:

$$A_m = \sum_{k=1}^m A_k \eta_k ,$$

а загальний ККД визначається як:

$$\eta = \frac{A_m}{A} = \frac{\sum_{k=1}^m A_k \eta_k}{\sum_{k=1}^m A_k} .$$

При паралельно-последовному з'єднанні механізмів (рис.2, в) розглядають окремі ділянки ланцюгів, які мають паралельне або последовне з'єднання, ККД яких слід враховувати за відповідними формулами. Після чого, залежно від структури з'єднань механізмів визначається загальний ККД.

Загальний ККД системи механізмів, з'єднаних паралельно-последовно визначається за формулою:

$$\eta = \frac{\sum_{k=1}^m A_{nk}}{\sum_{k=1}^m A_k} = \frac{\sum_{k=1}^m A_k \prod_{i=1}^n \eta_{ki}}{\sum_{k=1}^m A_k} ,$$

де  $n$  – кількість механізмів, з'єднаних последовно у паралельних ланцюгах;

$m$  – кількість паралельних ланцюгів.

Отже, ККД системи механізмів паралельного з'єднання буде більшим за величиною, ніж системи механізмів, з'єднаних последовно та паралельно-последовно.

Порівняльний аналіз механізмів за їх последовним та паралельним з'єднанням показує, що найбільш ефективно функціонують останні, які дозволяють зменшити енергетичні втрати на переміщення рухомих мас виконавчих органів, забезпечити мінімальну матеріалоемність та збільшити коефіцієнт корисної дії.

Подібні механізми мають визначені переваги у порівнянні з традиційними механізмами, основними з яких є:

- використання кінематичних ланок у вигляді стрижнів, які працюють як на розтягування, так і на стискання при відсутності напруг згину;
- можливість розташування виконавчих органів на нерухомих або на елементах, що рухаються повільно;

- застосування рухомих елементів мінімальної маси, які витрачають незначні потоки для переміщення виконавчого органу;
- використання незамкнених стрижневих систем при паралельній передачі створює жорстку просторову ферму;
- раціоналізації розподілу напрямків та величин навантаження дозволяють зменшити енергетичні витрати та забезпечити мінімальне навантаження на кінематичні ланки та приводи;
- мінімізація кількості з'єднань елементів та кінематичних ланок механізму, що обумовлює зменшення пружних деформацій, підвищення жорсткості системи, а також реалізує високу точність позиціонування виконавчого органу та поліпшує динамічні характеристики технологічного обладнання.

Вимогам сучасної технології задовольняє технологічне обладнання, побудоване на основі механізмів паралельної структури, яке слід розглядати не як модернізацію існуючого металообробного обладнання, а як впровадження нових нетрадиційних принципів проектування сучасного технологічного обладнання [2-4].

Механізми паралельної структури представляють собою принципово новий клас просторових механізмів, фізична сутність яких полягає у тому, що рухомий виконавчий орган (ВО) технологічного обладнання шарнірно зв'язаний з його нерухомим елементом (стаціонарним блоком) кінематичними ланцюгами, кожний з яких має індивідуальний привод або накладає визначену кількість зв'язків на переміщення виконавчого органу (табл.1).

Приклади використання просторових механізмів у верстатах нових компоновок з паралельною кінематикою наведені на рис.3-6 [3, 4, 5].

Кожне технологічне обладнання має характерний параметр - робочий простір. Саме робочий простір відрізняє вид обладнання від інших та обумовлює технологічні можливості. Робочий простір металообробних верстатів визначається робочим простором деталі та інструменту, а за формою та розмірами залежить від конструктивних форм деталі і інструменту, їх розмірів, кількості та напрямків координатних переміщень, а також характеру формоутворюючих рухів виконавчих органів, а саме:

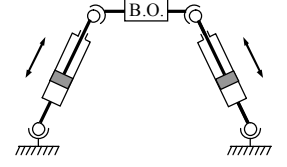
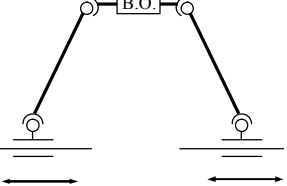
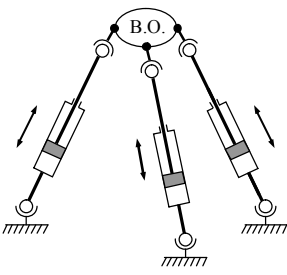
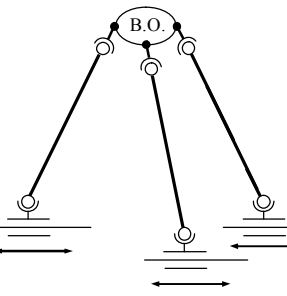
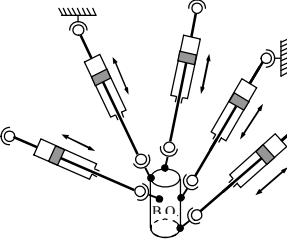
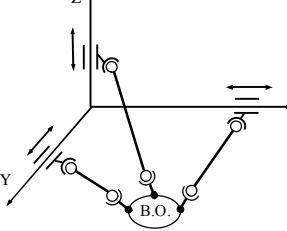
- для однокоординатного переміщення форма робочого простору визначається прямою лінією (свердлильне обладнання);
- для двохкоординатного переміщення (токарне обладнання) – площиною;
- для трьохкоординатного переміщення (фрезерне обладнання) – паралелепіпедом.

Робочий простір технологічного обладнання з паралельною кінематикою неможливо визначити однозначно. Його форма, розміри та положення змінюються при зміні положення виконавчого органу, а об'єм невеликий у порівнянні з габаритними розмірами обладнання.

Для цілеспрямованого проектування просторових механізмів паралельної структури необхідно розробити їх теорію, яка дозволить визначити рухи, різні положення механізму та сили, які діють в його елементах [2]. Необхідно мати поглиблений аналіз просторових кінематичних ланцюгів та механізмів, а саме:

- аналіз умов обертальності;
- можливості попадання в "особливі", в тому числі "мертві", положення;
- можливості розгалуження рухів;
- можливості введення додаткових закріплень, без порушення рухомості механізму.

Таблиця 1. Механізми паралельної структури

Термін	Визначення технологічного обладнання з паралельною кінематикою	Схема
1	2	3
Біпод	будова на основі кінематичного з'єднання двох штанг змінної довжини	
Біглайд	будова на основі кінематичного з'єднання двох штанг постійної довжини	
Трипод	будова на основі кінематичного з'єднання трьох штанг змінної довжини	
Триглайд	будова на основі кінематичного з'єднання трьох штанг постійної довжини	
Пентапод	будова на основі кінематичного з'єднання трьох основних та двох додаткових штанг змінної довжини	
Ортоглайд	будова на основі кінематичного з'єднання трьох штанг постійної довжини з ортогональним розташуванням напрямних	

Продолжение таблицы 1

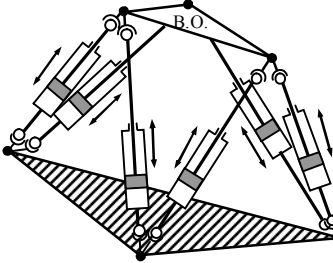
1	2	3
Гексапод	будова на основі кінематичного з'єднання шести штанг змінної довжини	
Гексаглайд	будова на основі кінематичного з'єднання шести штанг постійної довжини	
Дельта	будова на основі кінематичного з'єднання штанг, які виконані у вигляді паралелограмного механізму, а перетворення рухів реалізується шляхом примусового обертання опорних шарнірів, змонтованих на нерухомому стаціонарному блоці	
Ножиці	будова на основі кінематичного V-подібного з'єднання двох прямокутних пластин, а перетворення рухів реалізується шляхом використання додаткових кінематичних ланок з штангами змінної довжини, шарнірно з'єднаних з рухомим або нерухомим елементами механізму	



Рис.3 Фрезерно-свердлувальний верстат на основі механізму паралельної



Рис.4 Верстат-гексапод мод. COSMOCENTER фірми Okuma (Японія)

структури "біглайд" (Китай)



Рис.5 Чотирикоординатний верстат з ЧПК паралельної структури (Китай)



Рис.6 Трикоординатний фрезерно-свердлувальний верстат на основі механізму паралельної структури "триглайд" (Китай)

Верстати паралельної структури на відміну від традиційного металообробного обладнання не мають матеріальних координатних напрямних (триподи, гексаподи, ножиці), а тільки віртуальні. Саме це ускладнює оцінку конфігурації оброблюваних поверхонь заготовки та раціональне її розміщення у межах робочого простору обладнання. Відповідні формоутворюючі рухи виконавчих органів реалізуються шляхом математичного програмування.

Відомі спроби аналізу і візуалізації рухів виконавчих органів верстатів з паралельною кінематикою в програмних середовищах Solid Works, Maple, MSC/ADAMS [5]. Авторами [6] запропоновано окремий програмний комплекс "Гексапод". Кожне програмне забезпечення має свої переваги і недоліки.

Враховуючи накопичений досвід комп'ютерного моделювання формоутворюючих рухів механізмів паралельної кінематики, на кафедрі "Конструювання верстатів та машин" НТУУ "КПІ" спільно з кафедрою "Технологія машинобудування" ХНТУ створено програмний модуль в тривимірному графічному середовищі 3DStudioMAX для управління, кінематичного аналізу і візуалізації рухів верстатів нової компоновки. Вибір програмного середовища обумовлено наявністю гнучкої об'єктно-орієнтованої мови програмування MaxScript суміщеної з графічним простором моделювання. Створено інтерфейс програми, який дозволяє керувати положенням і орієнтацією виконавчого органу як по принципу прямої кінематики, так і зворотною кінематикою. Тривимірна модель верстату, а саме, рухома платформа, місця з'єднання шарнірів, штанг їх довжина і положення зв'язані змінними, математичними залежностями, що впливають на властивості об'єктів моделі за допомогою контролерів: Scriptcontroller, Position Expression, Path Constrain, Attachment, LookAt Constrain. Зміна положення і орієнтації виконавчого органу автоматично викликає розрахунок змінних і встановлення кінематичних ланок в потрібне положення або відповідну довжину штанг. Запропонований програмний модуль доволі гнучкий і дозволяє:

- обирати структуру механізму, тобто штанги змінної або постійної довжини (біпод або біглайд, трипод або триглайд і т. ін.) без змін в конструкції моделі верстату;
- задавати траєкторію руху ВО обиранням потрібного сплайну безпосередньо в тривимірному просторі;

- обирати характер руху ВО уздовж просторової траєкторії, тобто слідування ВО з орієнтацією осі інструменту по нормалі до оброблюваної поверхні або положення рухомої платформи паралельно нерухомій основі;
- виконувати запис анімації створених технологічних рухів верстату;
- отримувати числові дані про довжину штанг, положення опор і шарнірів у системі координат верстату, кути Ейлера для кінематичних ланок, кути між штангами механізму;
- отримувати траєкторії будь-якої характерної точки кінематичних ланок механізму, наприклад габаритів рухомої платформи механізму, а також сліди штанг при русі ВО за заданою траєкторією.

Тестування програмного модуля виконано для верстату типу гексапод на операції контурного фрезерування конічної поверхні по типовим траєкторям спіраль (рис.7), зигзаг по меридіанах (рис.8), зигзаг по сімейству гіпербол (рис.9), асимптотами яких є крайні твірні конуса.

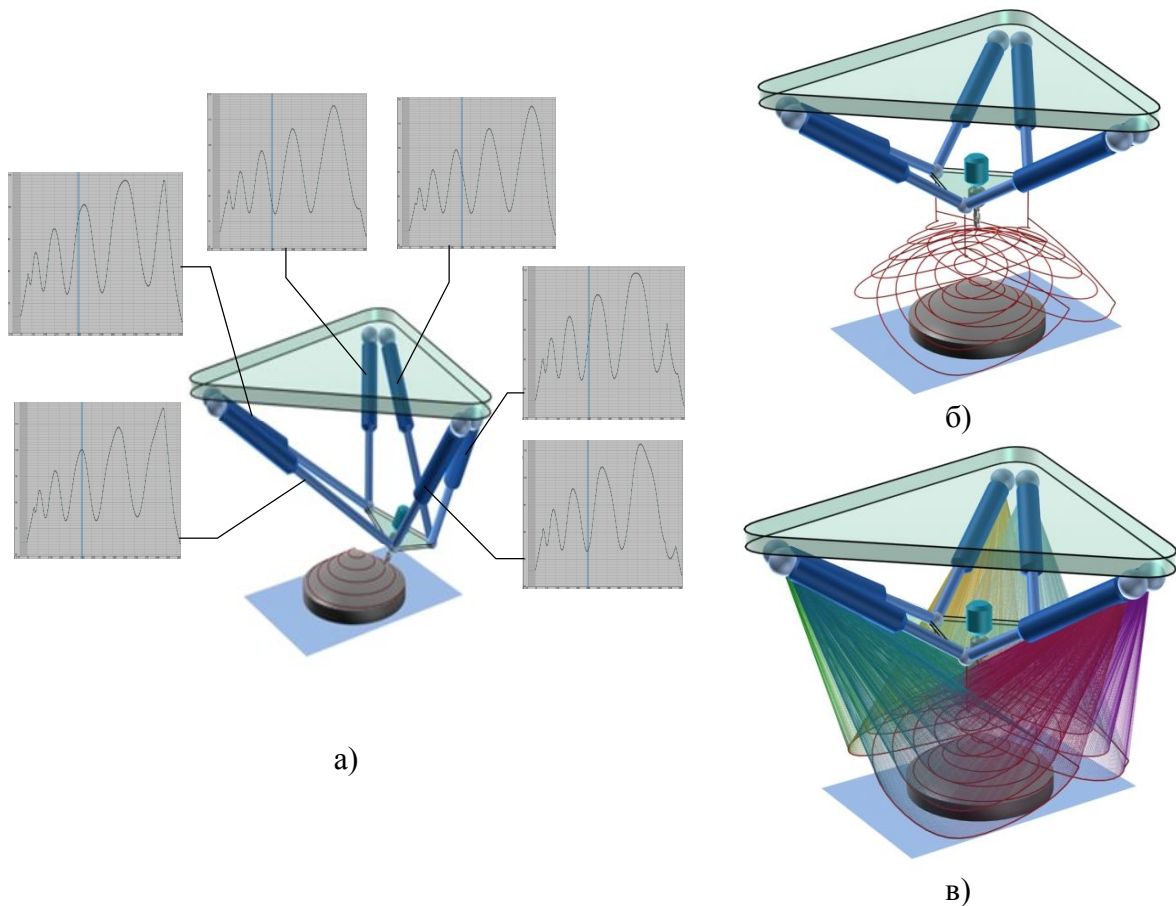


Рис.7. Моделювання обробки верстатом-гексаподом фрезеруванням конічної поверхні по спіралі: а) графіки змін довжини кожної штанги; б) траєкторії руху шарнірів рухомої платформи; в) сліди штанг гексапода при заданому циклі обробки



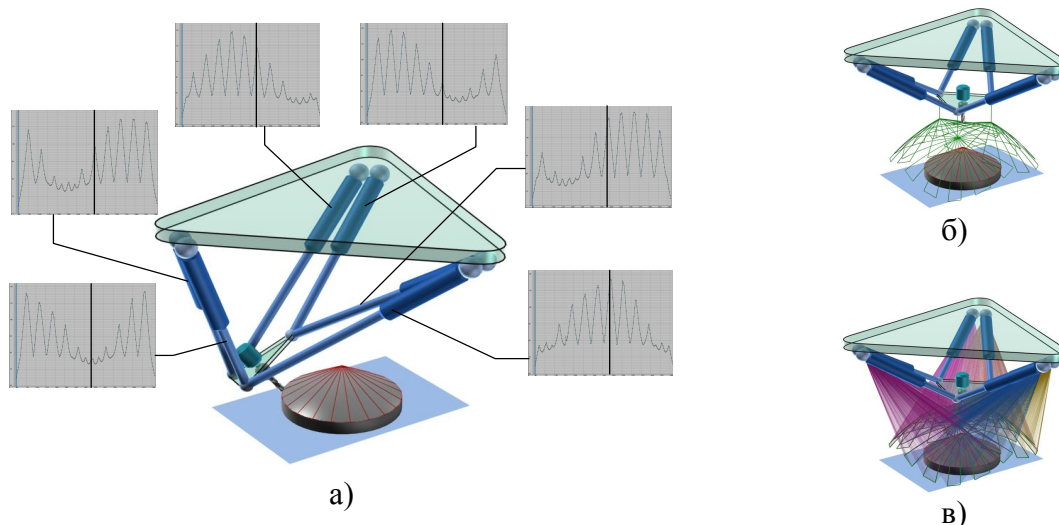


Рис.8. Моделювання обробки верстатом-гексаподом фрезеруванням конічної поверхні по меридіанах: а) графіки змін довжини кожної штанги; б) траєкторії руху шарнірів рухомої платформи; в) сліди штанг гексапода при заданому циклі обробки

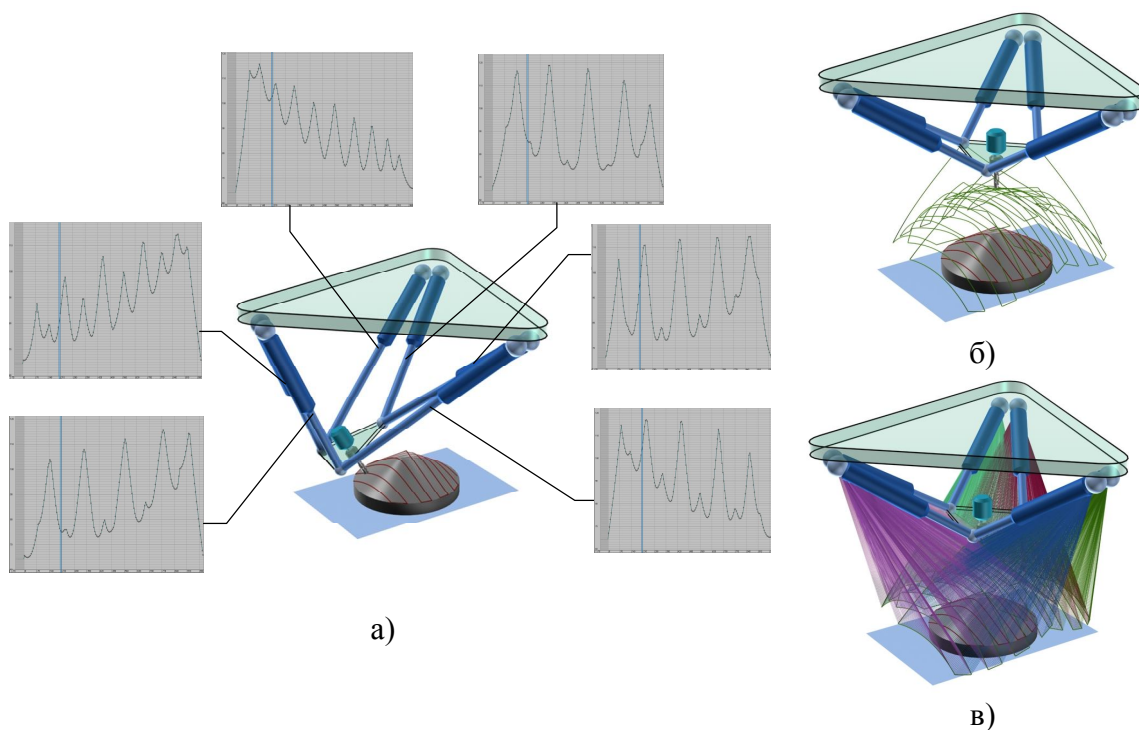
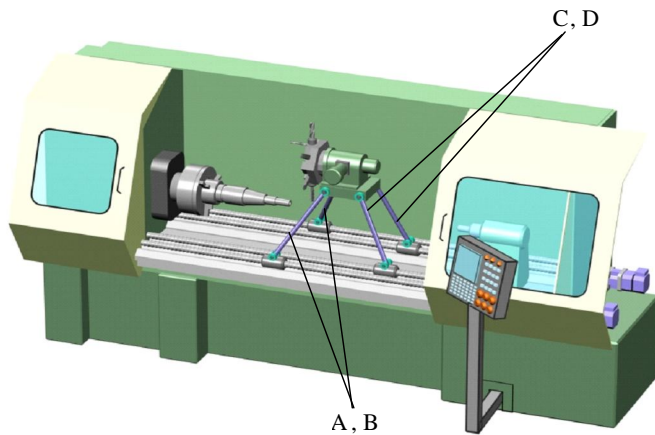


Рис.9. Моделювання обробки верстатом-гексаподом фрезеруванням конічної поверхні по гіперболах: а) графіки змін довжини кожної штанги; б) траєкторії руху шарнірів рухомої платформи; в) сліди штанг гексапода при заданому циклі обробки

Розробленою програмою виконано моделювання обробки ступеневого валу на токарному верстаті показаному на рис. 10. Револьверну голівку з інструментом розташовано на корпусі рухомої частини, що встановлено на чотирьох штангах А, В, С і D постійної довжини. Кожна штанга шарнірно зв'язана верхнім кінцем із корпусом рухомої частини, а нижнім кінцем із власним сферичним шарніром, що встановлено на рухому частину окремого механізму поздовжньої подачі на напрямних верстату.



Для поздовжньої подачі нижніх кінців кожної штанги по напрямним верстату використовується кульково-гвинтові передачі. За рахунок зміни положення нижніх кінців штанг відбувається переміщення і обертання рухомої платформи відносно координатних осей верстату X, Y, Z.

Рис.10. Токарний верстат з виконавчим органом виконаним на базі механізмів паралельної кінематики "біглайд"

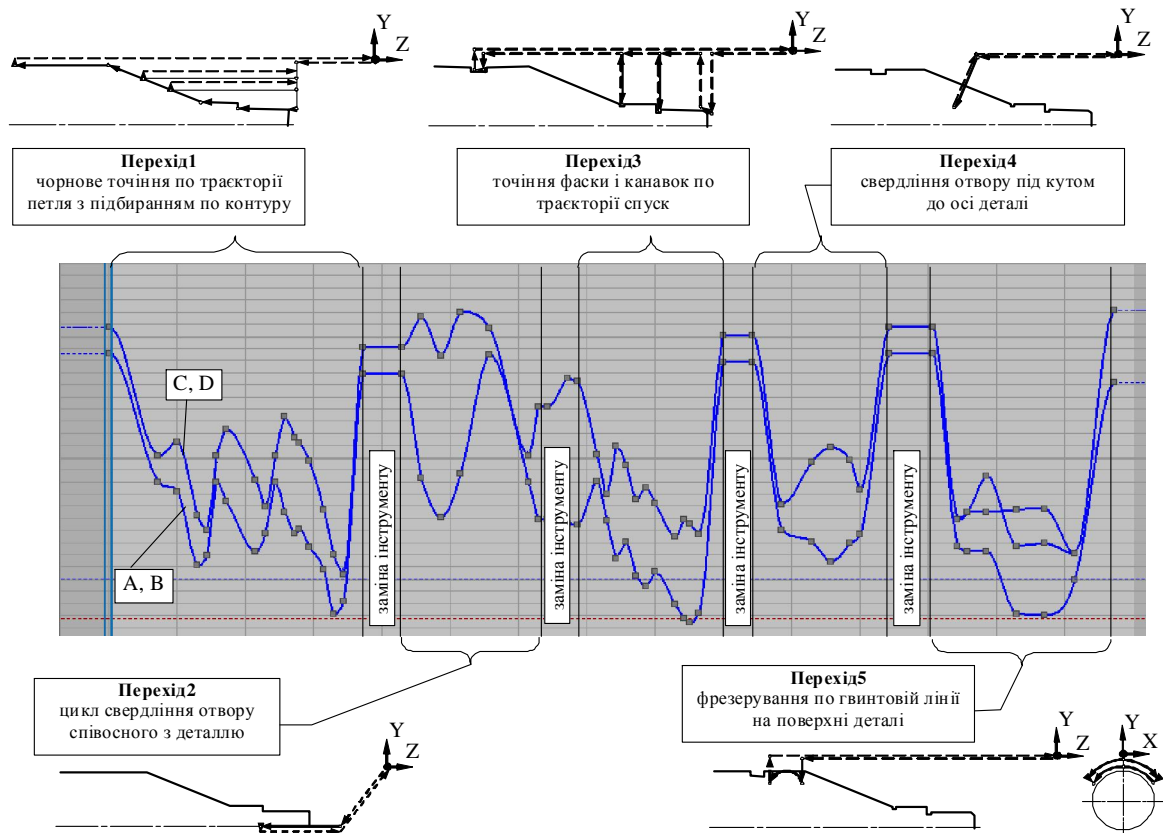


Рис.11. Відносні переміщення опор штанг A, B, C і D за координатою Z при обробці ступеневого валу

При тестуванні наведеного верстату нової компоновки виконувались рухи ВО для контурної і позиційної обробки, що складається з п'ятих переходів (рис.11). Отримані числові значення збільшень по координаті Z кожної штанги при роботі системи ЧПК у відносних координатах.

Виконані авторами розробки можуть бути запропоновані для використання не тільки при проектуванні верстатів нового покоління, а й при викладанні в якості засобів віртуального навчання (за відсутністю на перших етапах наочної матеріальної бази) розділів дисциплін "Верстати з ЧПК та верстатні комплекси", "Технологічне обладнання з паралельною кінематикою".

**Список літератури:** 1. Кузнецов Ю.М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування в Україні // Збірник наукових праць за матеріалами науково-методичної конференції "Проблеми фізико-математичної і технічної освіти і науки України в контексті євроінтеграції (Вища освіта-2006)".- К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2007. – с.45 -55. 2. Обработкающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В.Л. Афоник, А.Ф. Крайнев, В.Е. Ковальов и др.; Под ред. В.Л. Афонина. М.: Машиностроение, 2001. – 256 с. 3. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою.- Кіровоград, 2004. - 449с. 4. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібних для ВНЗ. – Кіровоград, 2003 р. 5. Bing Li . Xiaoping Hu . Hao Wang Analysis and simulation for a parallel drill point grinder. Part 2: grinding kinematic modeling and simulation // Int J Advanced Manufacturing Technology (2006) 30: P. 221–226. 6. Н. А. Грек, А. Г. Ивахненко, О. Н. Подленко Моделирование формообразования на станках с параллельной кинематикой // Информатика и системы управления. – 2005. – № 1(9). – С. 34 – 40.

Сдано в редакцию 20.06.07

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА**

**Лахин А.М., Михайлов А.Н. (ДонНТУ, Донецк, Украина)**

*In the given work was considered the main particular qualities of application of the functional-oriented techniques in manufacture of gear wheels. Their application gives an opportunity of security of full conformity of properties of separate elements of gear wheels to conditions of their using.*

### **1. Введение**

В настоящее время в технологии машиностроения имеется направление по проектирования технологического процесса изготовления изделий согласно выполнения ими определенных функций в процессе эксплуатации [1,2]. Это вызвано стремлением в наибольшей степени приспособить их к условиям эксплуатации, а также обеспечить наиболее выгодные эксплуатационные характеристики. Методом организации технологического процесса по такому принципу являются функционально-ориентированные технологические процессы, основанные на точной топологической ориентации элементов изделий и технологических воздействий оказываемых над ними[1].

Целью данной работы является повышение эффективности производства зубчатых колес за счет использования функционально-ориентированного подхода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: