

УДК 621.9.06

П.В. КЕБА

Херсонський національний технічний університет

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІЙ І КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ КАРКАСНИХ КОМПОНОВОК ВЕРСТАТІВ З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

В роботі розглянуто шляхи удосконалення верстатів з паралельною структурою. Показано конструкції верстатів з розширеними функціональними можливостями. Вказується модель, яка покладена в основу комп'ютерних програм «Tools Glide». В процесі проектування верстатів з МПС дане програмне забезпечення дозволить проаналізувати властивості будь-яких варіантів конструкцій, що проектуються, та зробити вибір конструктивних вузлів, агрегатів та деталей.

Розроблено математичну модель верстата і виконане моделювання переміщення виконавчої ланки. Отримано координати положення виконавчих ланок. Доведено працездатність розробленого пост-процесора для створення управляючих програм верстатів нестандартних компонок.

Ключові слова: верстат з паралельною кінематикою, механізми паралельної структури, математична модель, керування верстатом.

П.В. КЕБА

Херсонский национальный технический университет

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИЙ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КАРКАСНЫХ КОМПОНОВОК СТАНКОВ С МЕХАНИЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

В работе рассмотрены пути усовершенствования станков с параллельной структурой. Показаны конструкции станков с расширенными функциональными возможностями.

Показана модель, на которой основана компьютерная программа «Tools Glide». В процессе проектирования станков с МПС данное программное обеспечение позволит проанализировать свойства любых вариантов конструкций, которые проектируются, и произвести выборку узлов, агрегатов и деталей.

Разработана математическая модель станка и выполнено моделирование перемещения исполнительного звена. Получены координаты положения исполнительных звеньев. Доказана работоспособность разработанного пост-процессора для создания управляющих программ станков нестандартных компонок.

Ключевые слова: станок с параллельной кинематикой, механизмы параллельной структуры, математическая модель, управление станком.

P.V. KEBA

Kherson National Technical University

FUNCTIONAL EMPOWERMENT AND COMPLEX QUALITY ESTIMATION OF MACHINE TOOLS WITH FRAME ARRANGEMENT AND PARALLEL STRUCTURE MECHANISMS

The ways of development for machine tools with parallel structure are discovered. The constructions of machines with enhanced functionality are also presented.

The base model for computer program "Tools Glide" is examined. This software will provide an ability to analyze characteristics of any machine constructions and help to choose joints, mechanisms and other devices.

Machine-tool mathematic model is created. Carriages and executive branch moving modelling was done. Then the carriages coordinates are received. The workability of created post-processor is proved.

Keywords: parallel structure machine-tool, the mechanisms of parallel structure, mathematic model, machine-tool management.

Постановка проблеми

В ринкових умовах перед виробничими підприємствами постають задачі, характер яких швидко змінюється, майже щоденно. А підвищення економічних вимог до технологій обробки формує потребу на вдосконалення всієї ланки цифрового керування та підвищення інтенсифікації режимів обробки, продуктивності, точності та якості обробки на верстатах з механізмами паралельної структури (МПС). У сфері оброблюючого обладнання необхідно мати різноманітне верстатне устаткування яке б дозволило забезпечити виконання вимог замовника із мінімальними капіталовкладеннями для одного підприємства.

Сучасні САМ-системи містять постпроцесори розроблені під існуючі моделі обладнання, а будь який новий або модернізований верстат потребує нового математичного опису [1]. Керування рухом виконавчої ланки верстату з механізмами паралельної структури передбачає контроль за рухами інструменту в просторі та потребує моделювання руху всіх рухомих ланок, вузлів та агрегатів.

Переважає більшість постпроцесорів в існуючих САМ-програмах розроблені під існуючі верстати та відомі компоновки [2]. При створенні нової компоновки виникає необхідність адаптувати програму керування згідно кінематичної структури і одночасно виконувати аналіз жорсткісних та динамічних характеристик технологічної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день велику увагу приділяють верстам з механізмами паралельної кінематики, в роботі [3] було розроблено конструкцію спеціальних пристроїв (калібрів) для ідентифікації геометричних параметрів точності верстата з МПС та визначення параметрів його точності. В роботі [4] розглядаються основні типи багатокординатних верстатів паралельної структури і можливості орієнтації її робочого органу відносно системи координат та проведена робота щодо забезпечення жорсткості шарнірних опор робочого органу верстата «пентапод» під дією радіального та осьового навантаження. Однак не було проведено досліджень щодо створення програмного забезпечення яке б в процесі проектування верстатів з МПС дозволить проаналізувати властивості будь-яких варіантів конструкцій, що проектується, зробити вибір конструктивних вузлів, агрегатів та деталей.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи було знайти шляхи розширення функціональних можливостей верстатного обладнання з механізмами паралельної структури та дослідити його кінематичну та динамічну якість. А також довести працездатність та адекватність отриманих результатів розробленого програмного забезпечення для отримання програми керування верстатом з паралельною кінематикою.

Викладення основного матеріалу дослідження

Виготовлено дослідний зразок фрезерного верстата пірамідального компонування з механізмами паралельної структури, який має наступні параметри (рис. 1).

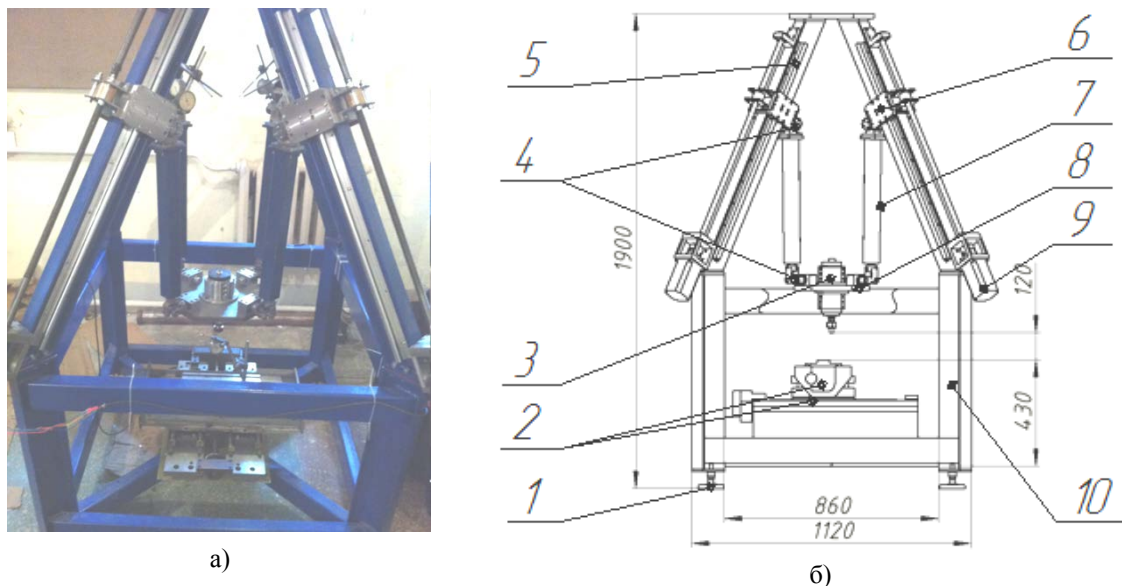


Рис. 1. Свердлильно-фрезерний верстат пірамідальної компоновки: а – фото; б – схема – опора 1, хрестовий стіл 2, мотор-шпиндель 3, шарнір 4, напрямна 5, каретка 6, штанга постійної довжини 7, рухома платформа 8, лінійний двигун 9, каркас 10 .

Отримані такі умови моделювання обробки СФВПК-4:

- 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 методом.

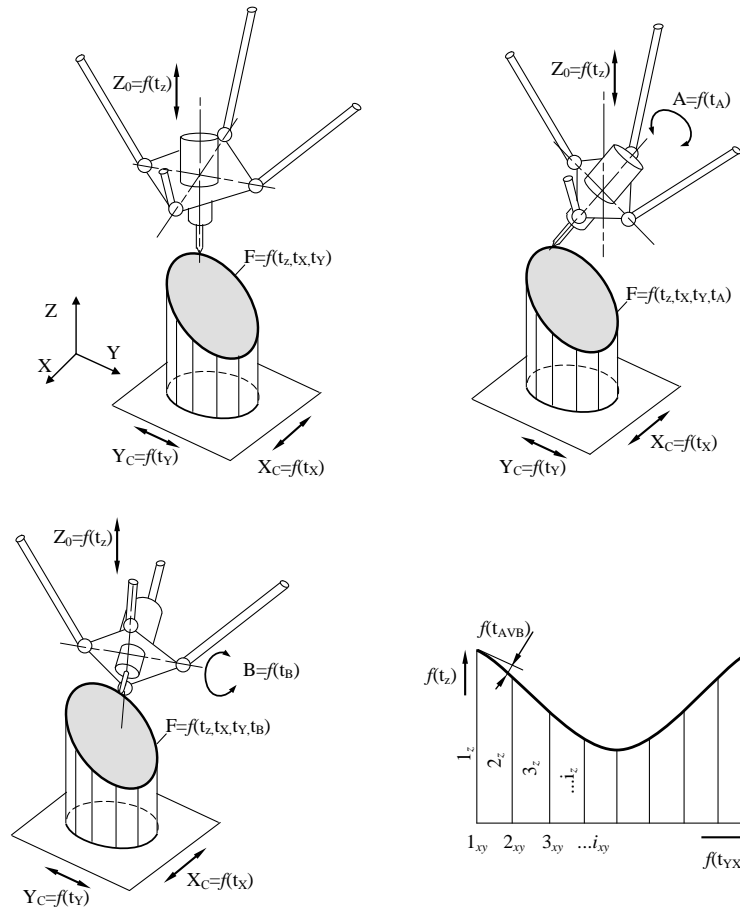


Рис. 2. Імовірні схеми керування ВО по просторовим траєкторіям і взаємозв'язок керованих змінних в кінематичній моделі СФПК-4

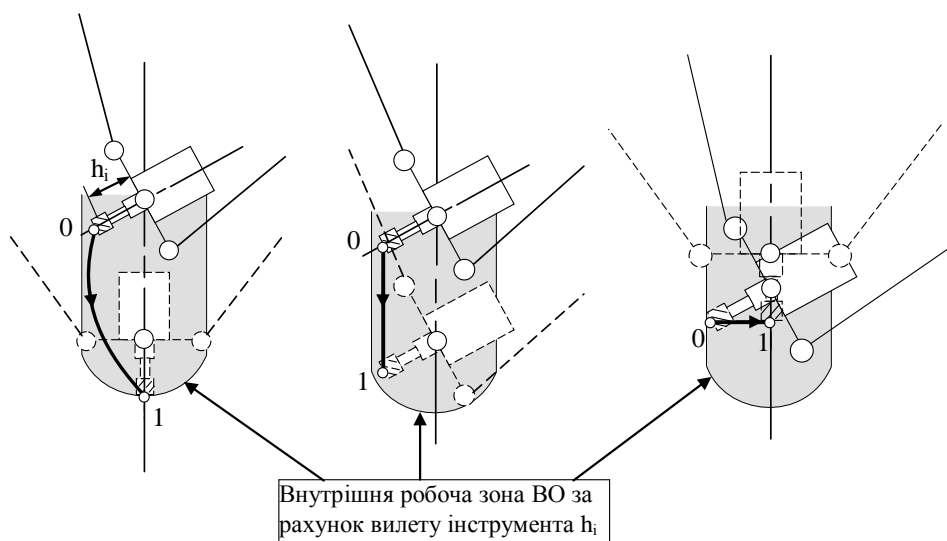


Рис. 3. Приклади відтворення плоских траєкторій СФПК-4 в межах внутрішньої зони інструменту

Запропоновано комплексний підхід оцінки якості компоновки, який включає: процедури структурно-схемного синтезу в залежності від геометричного образу деталі, що обробляється; математичні і програмні методи розв'язання задач кінематики і управління приводами каркасних компоновок; оцінку пружного стану і динамічного відгуку верстатної системи з МПС в заданих діапазонах роботи обладнання. Отримано математичну модель, яку покладено в основу комп'ютерних програм «Tools Glide» та «Tools Response». В процесі проектування верстатів з МПС дане програмне забезпечення дозволить проаналізувати властивості будь-яких варіантів конструкцій, що проектується, та зробити вибір конструктивних вузлів, агрегатів та деталей (рис.4).

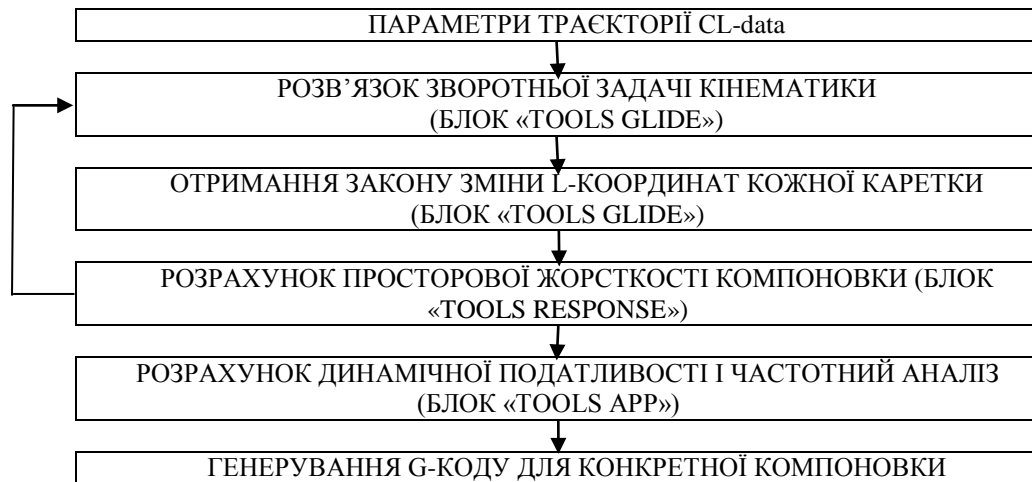


Рис. 4. Послідовність процедур зовнішнього постпроцесора

Блок кінематики («Tools Glide») включає можливості формування компоновки glide-обладнання та розрахунками кінематики з підтримкою зворотного зв'язку з модулем відклику «Tools Response» для врахування роботи шарнірів різних типів. Основні модулі системи включають: модуль роботи з файлами CL-data (MPN) – формування та корегування масиву X ; модулі розрахунку кінематичних задач (SolvingNuPhi, Rota, Coord Car, Basis, ...) – формується характер осі керування, матриць переходу від попередньої опорної точки до наступної, формування координат кареток тощо (рис. 5, а). Після завантаження файлу CL-data та його оброблення, на виході програми отримуємо графіки переміщення кареток із масивом числових значень їх координат (рис. 5, б).

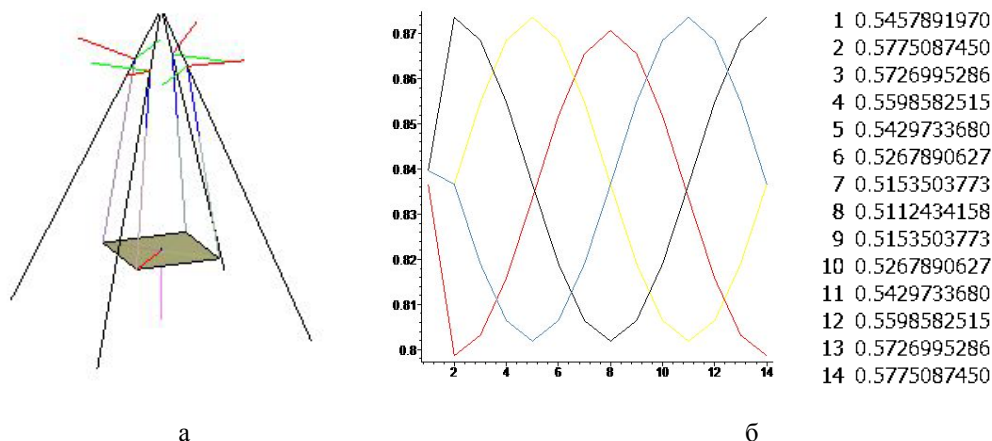


Рис. 5. Отримана візуалізована математична модель верстата з паралельною структурою, (а); та графіки переміщення кареток із масивом числових значень їх координат (б)

Для більш глибокого вивчення характеристик верстатів з паралельною структурою, а саме аналіз динамічного відгуку системи у будь-якому положенні було розроблено блок аналізу податливостей («Tools Response»), який включає можливості розрахунку відгуку конструкції імпортованої з модуля «Tools Glide» за методом скінченних елементів з врахуванням жорсткісних характеристик ланок, типів шарнірів тощо (рис. 6) Основні модулі системи включають: модулі формування та корегування

скінченних елементів (Balance, PhisEqs, ATP, ...) – підтримуються скінченні елементи типу консоль (CONS), балка (BEAM), полігон (ATP), шарніри (Joint), стойки (Bar) та ін.; окрім того процедура ATP враховує кінематичні зв'язки і поведінку абсолютно твердого тіла (rigid body) в просторі; модуль фізики PhisEqs містить закони деформування елементів, розраховує матриці жорсткості компонентів в локальних та глобальних системах координат; модуль рівноваги Balance встановлює балансові закони для усіх об'єктів навантаження; Joint – модуль врахування видів шарнірів по геометрії, кінематиці, зовнішніх силах і моментах, що виникають в шарнірах; Bar – модуль характеристик стойки (попереднє навантаження, орієнтація, рух шарнірів відносно системи координат стойки).

Зворотній зв'язок між модулями (імпорт-експорт) забезпечує можливість врахування взаємного впливу «кінематика – деформаційний відклик конструкції». Ця можливість забезпечує подальше оптимальне прогнозування роботи обладнання для різних компоновок.

Для кожної технологічної системи ця залежність різна і може бути визначена окремо, що дозволяє також використовувати програмний продукт на етапі проектування верстатів з МПС [5].

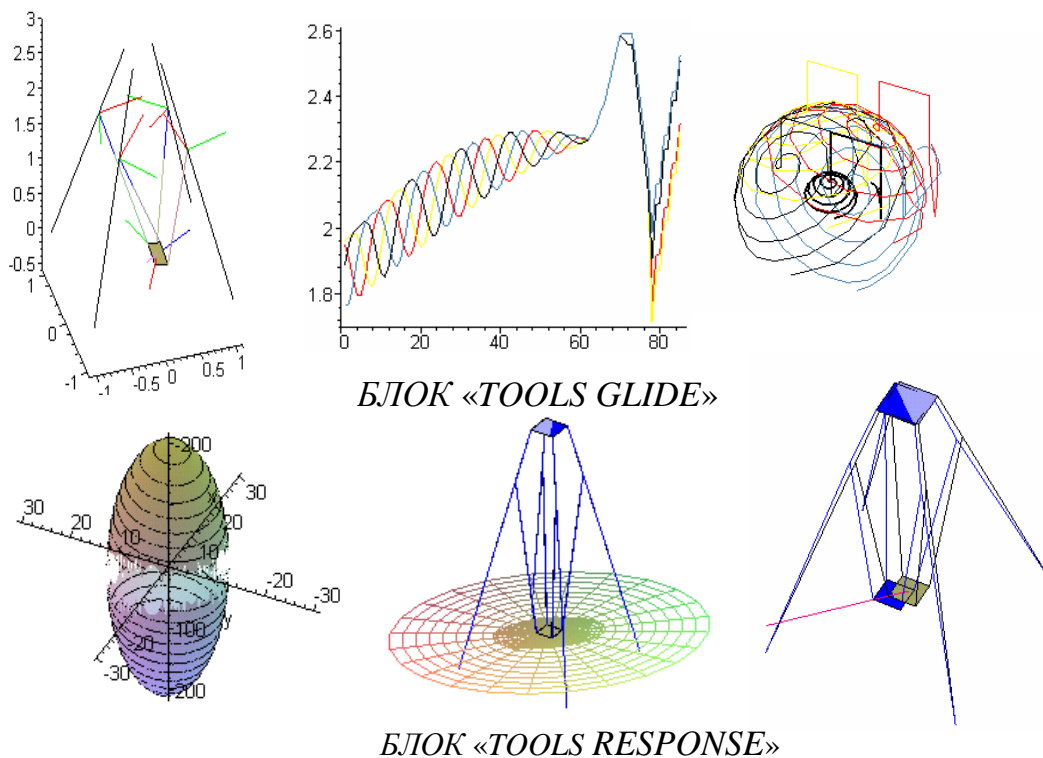


Рис. 6. Проміжні графічні об'єкти блоків «Tools Glide» та «Tools Response»

Сучасне виробництво у промисловості не обмежується технічними задачами, що виконуються саме на території підприємства, цеху або ділянки. В багатьох випадках потрібно мати мобільне оброблює або позиціонує устаткування, яке б відповідало критеріям точності, економічності і розширеної функціональності. В даному напрямі перспективу мають каркасні малометалоемні компоновки технологічного обладнання з просторовими шарнірно-стрижневими механізмами паралельної структури (МПС) [6]. Однак стала кінематична будова і нерухома несуча основа традиційних компоновок обмежує робочий простір такого обладнання у внутрішньому його просторі [7].

Для вирішення даної задачі в роботі застосовано для МПС із штангами постійної довжини генетичний оператор інверсії [8] і отримано ряд нових компоновок обладнання маніпулювання об'єктами [9] з новими ознаками і розширеною функціональністю (рис.7).

Функціональні і сервісні можливості підвищуються за рахунок перенесення приводів із рухомими каретками на каркасну рухому платформу. Дане рішення дозволяє досягнути значного збільшення варіантів кріплення до зовнішніх опор та спрямованого керування значенням жорсткості виконавчого органу у відповідному напрямі. Тим самим робочий простір переноситься назовні від загальних габаритів компоновки, а рухома платформа утворює окремий модуль, що легко транспортується та встановлюється поряд з об'єктом, який обробляється.

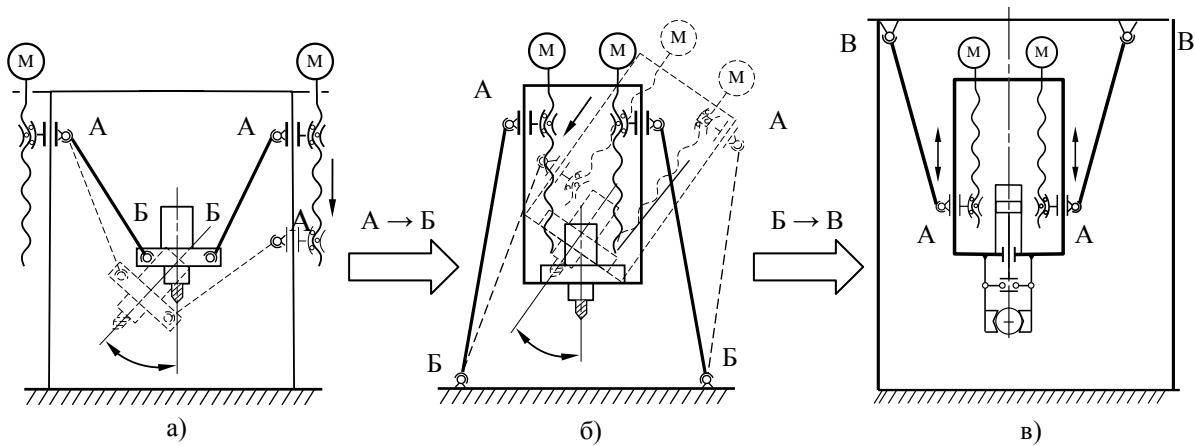


Рис. 7. Схемна реалізація інверсії для отримання нових властивостей маніпуляційних систем з МПС: а – традиційна глайд-компоновка; б – приводи і каретки перенесено на рухому платформу; в - кріплення штанг перенесено на іншу (будь-яку) поверхню

Механізм маніпулювання (рис. 8 а, б) складається з рухомої платформи у вигляді каркасу, на якому розташовані крокові двигуни і незалежні приводи. Кожен привод містить гвинтову передачу з рухомою кареткою, що рухається уздовж напрямних, які каркасно об'єднано в єдиний модуль - рухому платформу і штанги постійної довжини з шарнірами з боку рухомої платформи і шарнірами з іншого боку, якими механізм маніпулювання кріпиться до будь-яких зовнішніх опор як в промислових, так і непромислових (польових) умовах. На рухомій платформі може бути розташовано робочий орган - мотор-шпindel з інструментом, схват маніпулятора, лазер, плазмовий різак і ін. Керування рухами механізму маніпулювання об'єктами в технологічному обладнанні забезпечується системою ЧПК, що формує та подає керуючий сигнал на приводи механізмів поступового руху. Окремі приводи механізму маніпулювання отримують незалежний керуючий сигнал, що дає можливість незалежного переміщення всіх кареток. Дані переміщення змінюють положення рухомої платформи з захватним пристроєм або мотор-шпindelю з інструментом у просторі по незалежним координатним осям.

В залежності від конфігурації і розмірів необхідного робочого простору та умов довколишнього середовища може бути створено інші варіанти кріплення механізму маніпулювання до вертикальних або горизонтальних площин зверху або знизу штангами постійної довжини (рис.8 в).

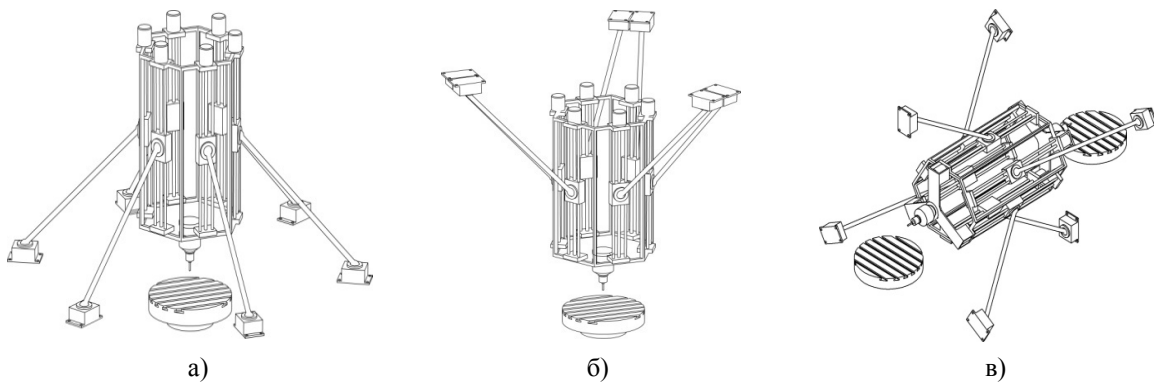


Рис. 8. Компоновка багатопільового механізму маніпулювання з різним початковим розташуванням рухомої платформи: а - штанги прикріплено знизу до горизонтальної поверхні і рівномірно розподілено; б – штанги прикріплено зверху до горизонтальної поверхні і з'єднано попарно; в – горизонтальне розташування рухомої платформи і по три штанги окремо прикріплено збоку до двох вертикальних паралельних площин

Висновки

Розроблено модель та багатомодульну ієрархічну програму, що є фактично зовнішнім постпроцесором для створення програм керування нових компоновок верстатів з МПС з одночасною оцінкою кінематичної якості та параметрів жорсткості і динамічного відгуку ланок при виконанні технологічних переходів обробки складнопрофільних поверхонь. Отримані координати положення

виконавчих ланок верстата і візуалізовано робочі рухи виконавчого органа (ВО) згідно отриманої програми керування. Розглянуто відгук системи на зовнішні навантаження. Отримані результати переміщення ВО під дією зовнішніх факторів. Запропоновано схеми верстатного обладнання з розширеними функціональними можливостями.

Список використаної літератури

1. Петраков Ю. В., Напрями розвитку САМ-систем / Ю. В. Петраков, В. В. Писаренко, О. С. Мацківський // Журнал інженерних наук. – 2015.–Том 2. –№ 2 (2015). – С. А7-А13.
2. Петраков Ю. В., Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів із ЧПУ: Монографія. – К.: Січка, 2011. – 220 с.
3. Струтинський В.Б., Дем'яненко А.С. Визначення похибки виходу робочого органу верстата з механізмами паралельної структури в позицію // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу». — Херсон – 2015.
4. Кириченко А.М., Шелепко О.В. Експериментальне дослідження жорсткості шарнірів робочого органа багатокоординатного верстата паралельної структури «пентод» // Вісник Херсонського національного технічного університету. — 2015р.
5. Кузнецов Ю.М. Компонувки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич; під ред. Ю.М. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
6. Кузнецов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Діневич Г.Ю. Компонувки верстатів з механізмами паралельної структури. Монографія. – Херсон: ПП Вишемирський, 2009. – 456 с., 2010. – 471с.(рос.)
7. Кузнецов Ю.М. Маневреність супорта в робочому просторі багатокоординатного верстату нової компоновки / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв //Вестник Херсонского национального технического университета. Вып. 3(32).-Херсон:ХНТУ, 2009 - С.15-21.
8. Кузнецов Ю.Н. Генетический подход – ключ к созданию сложных технических систем/ Ю.Н.Кузнецов, В.Ф.Шинкаренко //Научный журнал «Технологічні комплекси», №1,2(5,6), 2012. – с.15 – 29.
9. Кузнецов Ю.М., Бардачов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Півень С.М. "Механізм маніпулювання об'єктами в технологічному обладнанні", Заявка на винахід №а201512568 від 21.12.2015.