УДК 62-231: 621.9.04

А.М. Кириченко, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Моделювання жорсткості верстата-гексапода

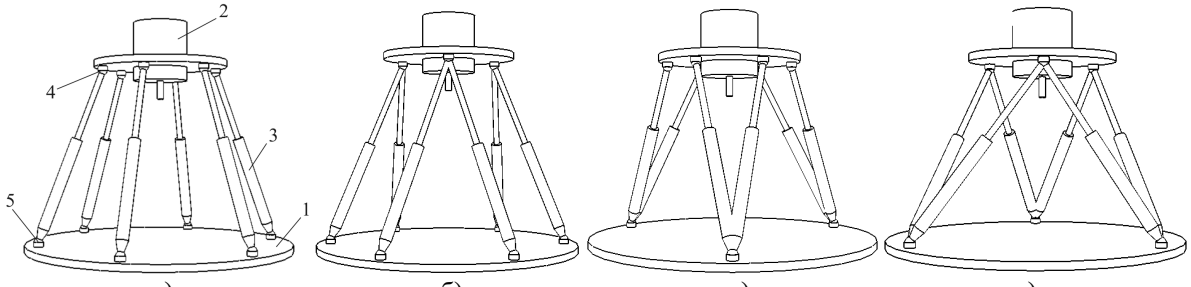
Наведено результати моделювання жорсткості робочого органа верстата-гексапода під навантаженням на основі розробленої віртуальної моделі. Встановлено залежність жорсткості від компоновки, конструктивних параметрів та положення робочого органа.
верстат-гексапод, жорсткість, навантаження, модель

Вступ. Основним напрямком автоматизації багатономенклатурного серійного виробництва є створення швидкопереналагоджуваного технологічного обладнання з ЧПУ на основі механізмів паралельної структури, яке слід розглядати не як удосконалення існуючого технологічного обладнання, а як створення принципово нового обладнання для виконання майже усіх технологічних операцій (обробки, складання, випробування та вимірювання виробів), а також нових принципів конструювання сучасних верстатних систем.

За три останні десятиріччя запропоновано понад 100 різноманітних моделей технологічного обладнання з паралельною кінематикою, значну частину яких складають верстати-гексаподи, які реалізують формоутворюючі рухи робочого органа під час обробки поверхонь деталей за рахунок зміни довжини шести кінематичних ланок [1].

Постановка задачі. Точність та продуктивність обробки на верстатах-гексаподах здебільшого визначається їх жорсткістю під навантаженням. Дослідженням жорсткості верстатного обладнання з паралельною кінематикою присвячені нечисельні праці зарубіжних авторів [2, 3], які показали високу складність аналітичного розрахунку пружних переміщень механізмів паралельної структури. У відомих дослідженнях не розкриті питання залежності жорсткості від компоновки та конструктивних параметрів верстатів-гексаподів, що визначає мету і задачі роботи.

Відомі компоновочні схеми верстатів-гексаподів [1] відрізняються кількістю груп опорних шарнірів, змонтованих на несучій системі та виконавчому органі, що обумовлює різне розташування у просторі кінематичних ланок (рис. 1).



а) б) в) г)

1) нерухома платформа; 2) виконавчий орган – рухома платформа; 3) кінематичні ланки; 4,5) опорні шарніри а) N×S=6×6; б) N×S=6×3; в) N×S=3×6; г) N×S=3×3

Рисунок 1 – Компоновочні схеми верстатів-гексаподів

© А.М. Кириченко. 2008

Віртуальна модель верстата-гексапода. Оскільки теоретичне визначення жорсткості просторового механізму є досить складним і потребує розв'язання прямої кінематичної задачі, скористаємось для розрахунку жорсткості методом кінцевих елементів.

Для аналізу жорсткості побудовано віртуальну модель верстата-гексапода у середовищі COSMOSWorks – системі інженерного аналізу, повністю інтегрованій до програми SolidWorks. Вона забезпечує зручний розрахунок напружень, частотний аналіз, аналіз стійкості об'єктів, термічний аналіз та оптимізацію конструкцій. COSMOSWorks використовує метод кінцевих елементів – універсальний чисельний метод розрахунку інженерних конструкцій, згідно з яким конструкція розбивається на багато малих частинок простої форми, що звуться елементами. Таким чином, вирішення складної задачі аналізу конструкції замінюється на вирішення багатьох простих задач, які повинні бути розв'язані одночасно.

Загальний вигляд і габаритні розміри моделі показані на рис. 2. Шарніри для спрощення моделювання прийняті сферичними. Особливість полягає в тому, що для моделювання жорсткості опор, яка для сферичних шарнірів фірми INA складає 280…350 Н/мкм [4], у спряженнях штанг з опорами рухомої та нерухомої платформ застосовані вставки з матеріалу відповідної жорсткості. Нерухома платформа закріплена за допомогою спряження «Зафіксована геометрія», до рухомої платформи прикладені навантаження у напрямках координатних осей.

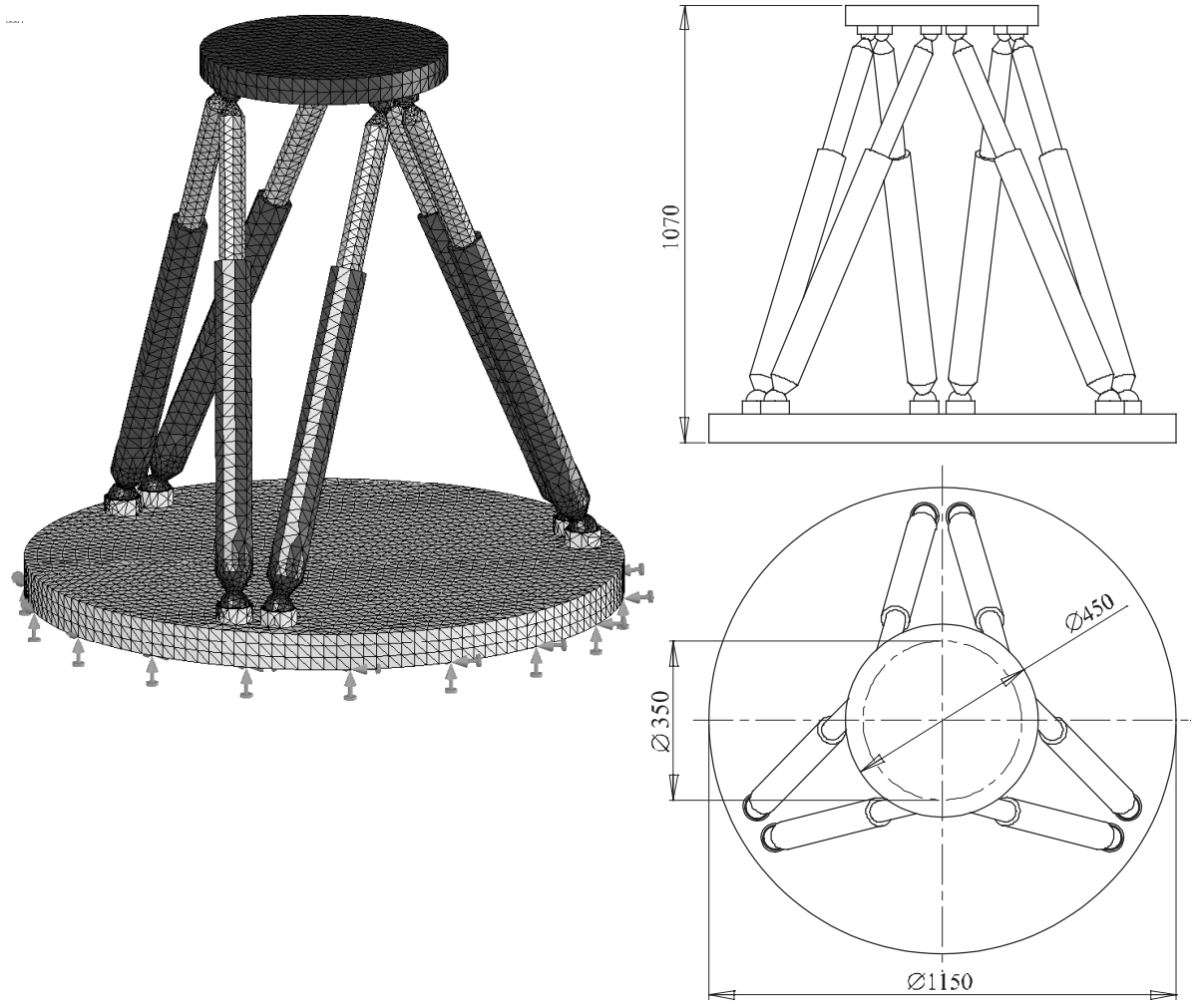


Рисунок 2 – Віртуальна модель верстата-гексапода

Порівняння компоновок з точки зору жорсткості проводилось при навантаженні рухомої платформи силою 1000 Н у напрямках кожної з осей координат.

Аналіз отриманих результатів (рис. 3) показує, що мінімальна податливість спостерігається при навантаження рухомої платформи силою вертикально згори донизу по осі Z. В даному випадку податливість приблизно однакова для всіх компоновок. Мінімальні переміщення під навантаженням має компоновка 3x3, максимальне – 6x6. Таким чином, жорсткість верстата-гексапода падає при зростанні кількості груп опорних шарнірів на основі та рухомій платформі.

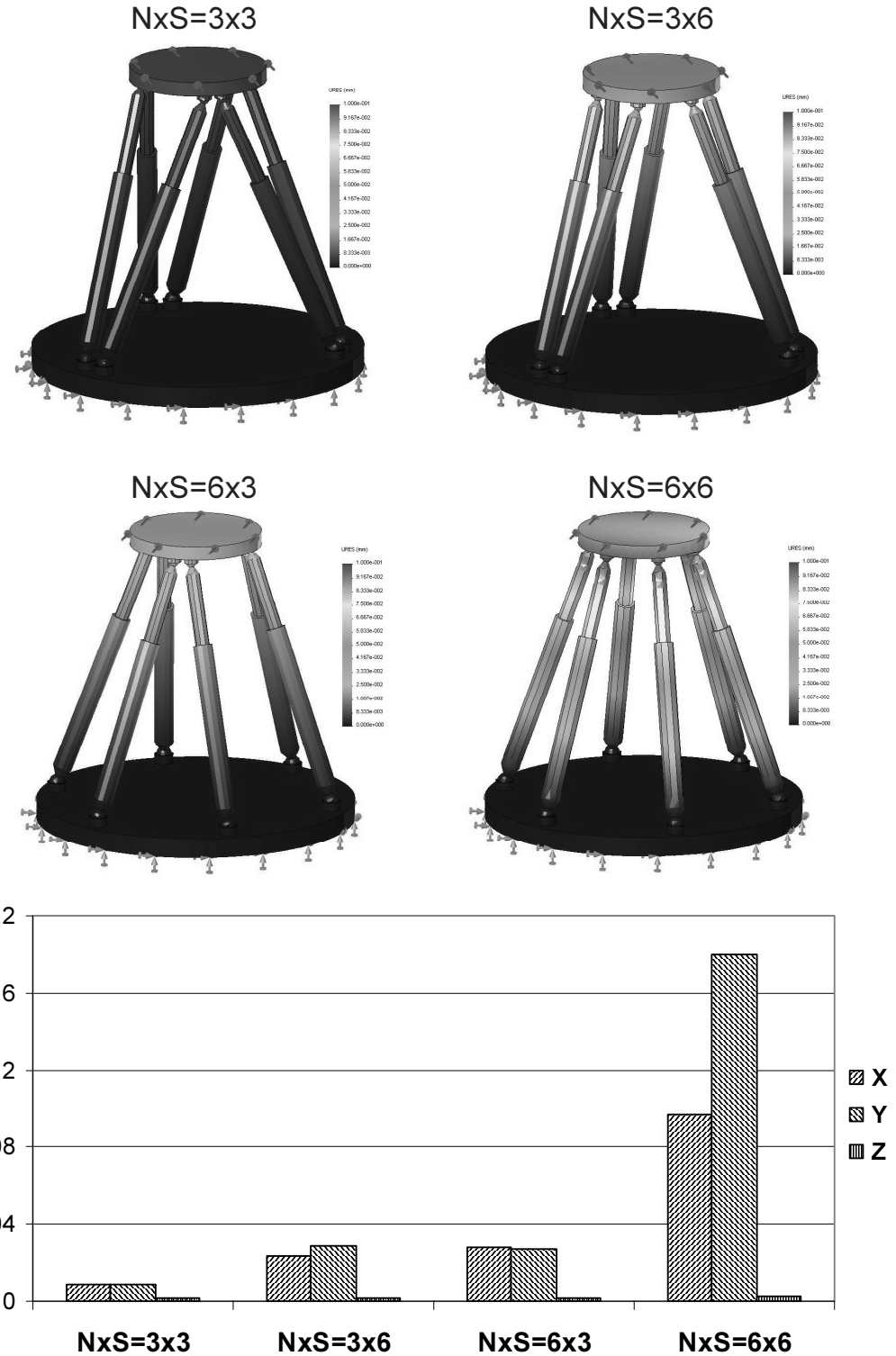


Рисунок 3 – Порівняльна податливість компоновок гексаподів

Залежність жорсткості від діаметра рухомої платформи визначалась при навантаження рухомої платформи силою 1000 Н у радіальному напрямку. Отримані результати показані на рис. 4. Максимальна податливість спостерігається при діаметрі рухомої платформи, приблизно рівному третині від діаметра основи. Таким чином, для збільшення жорсткості необхідно зменшувати діаметр рухомої платформи.

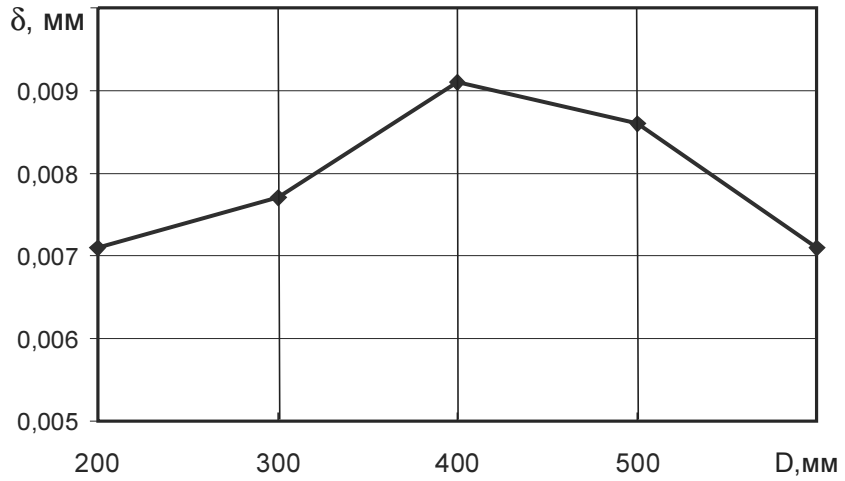


Рисунок 4 – Залежність пружних переміщень від діаметра рухомої платформи

Розподіл жорсткості у робочому просторі гексапода. Для дослідження жорсткості моделювалось навантаження рухомої платформи силою 1000 Н при різній її відстані від основи та різному радіальному положенні. За початкове положення прийнято відстань 1000 мм між платформами.

Залежність пружних переміщень від висоти рухомої платформи показана на рис. 5. Видно, що жорсткість значно зменшується із збільшенням довжини штанг, оскільки зростає момент радіальної сили відносно основи гексапода. При переміщенні рухомої платформи від -200 до 200 мм пружні переміщення збільшуються в 4 рази.

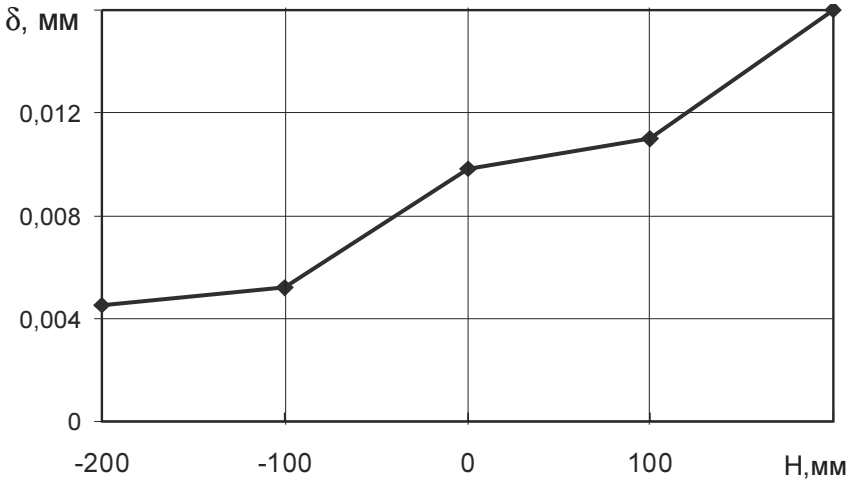


Рисунок 5 – Залежність пружних переміщень від висоти рухомої платформи

Залежність пружних переміщень від радіального положення платформи – переміщення по координаті X – моделювалась при навантаженні у напрямку осей X та Y. Результати показані на рис. 6. Аналізуючи залежності, можно зробити висновок, що переміщення при навантаженні в напрямках осей X та Y однакові, що пояснюється симетричністю просторової структури гексапода. Також жорсткість практично не залежить від радіального положення рухомої платформи.

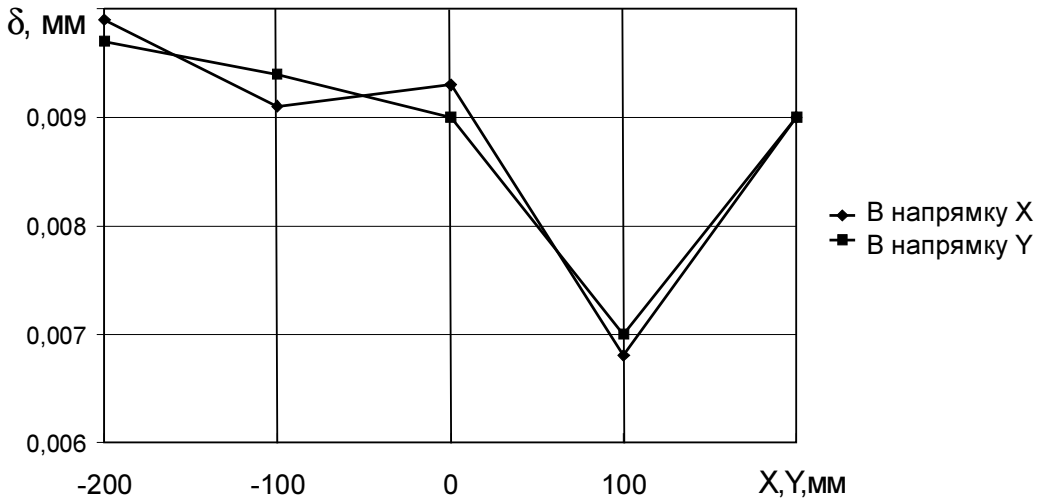


Рисунок 6 – Залежність пружних переміщень від радіального положення рухомої платформи

Висновки та напрямки подальших досліджень:

1. Жорсткість верстата-гексапода падає при зростанні кількості груп опорних шарнірів на основі та рухомій платформі. Жорсткість компоновки 3х3 максимальна, компоновки 3х6 та 6х3 мають приблизно втричі меншу, а компоновка 6х6 – у 10-15 разів меншу жорсткість.

2. Мінімальна жорсткість верстата-гексапода спостерігається при співвідношенні діаметрів розміщення шарнірів на рухомій платформі та основі приблизно 1:3. Таким чином, при проектуванні діаметр рухомої платформи необхідно вибирати мінімальним, обмежуючи його лише розмірами шпиндельного вузла.

3. Для збільшення жорсткості гексапода необхідно намагатися розміщувати рухому платформу ближче до основи, оскільки при збільшенні відстані між платформами у півтора рази жорсткість зменшується майже в 4 рази.

4. Жорсткість гексапода майже не залежить від радіального положення рухомої платформи та напрямку радіального навантаження.

5. Потребує подальших досліджень вплив жорсткості приводів та розміщення опор рухомої платформи.

Список літератури

1. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Скляров Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ / Під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
2. Gosselin C. Stiffness mapping for parallel manipulators. – IEEE Trans. Robotics Automat. – 1990. – №6. – P. 377-382.
3. Rebeck E., Zhang G.M. A Method for Evaluating the Stiffness of a Hexapod Machine Tool Support Structure. – International Journal of Flexible Automation and Integrated Manufacturing. – 1999. – Vol. 7. – P. 149-165.
4. http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/library/downloads/bpk_de_us.pdf

Приведены результаты моделирования жесткости рабочего органа станка-гексапода под нагрузкой на основе разработанной виртуальной модели. Установлены зависимости жесткости от компоновки, конструктивных параметров и положения рабочего органа.

The method and results of stiffness modelling of hexapode effector under the load is given, based upon the developed FEA model. The dependence of stiffness upon the configuration, design factors and the position of effector is determined.