

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Шелепко Ольги Володимирівни
"Підвищення вихідних характеристик багатокординатних верстатів
паралельної структури зі спеціальним робочим органом",
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.03.01 - "Процеси механічної обробки, верстати та
інструменти"

Дисертація є кваліфікаційною науковою роботою, яка виконана особисто у вигляді рукопису. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, 8-и додатків.

На розгляд представлено: дисертацію, автореферат, копії опублікованих робіт і висновок установи, в якій виконувалась робота.

1. Актуальність теми та її відповідність планам наукових досліджень

Дисертацію Шелепко О.В. присвячено пошуку кінематичних, силових і конструктивних параметрів та їх системного взаємозв'язку для багатокординатних верстатів паралельної структури, зокрема металообробних верстатів-пентаподів зі спеціальним робочим органом, на якому змінюється положення шарнірів в локальній системі координат рухомої платформи, що несе інструмент. Багатокординатні верстати паралельної структури (БВПС) відносяться до нового покоління гнучкого програмно-керованого технологічного обладнання і потребують ґрунтовних теоретичних та експериментальних досліджень. Основними шляхами удосконалення таких верстатів є визначення їх оптимальних конформувальних схем, структури кінематичних замкнених ланцюгів, конструктивного виконання вузлів і елементів, що дає змогу розширити технологічні і функціональні можливості такого обладнання. Тому тема досліджень дисертації є актуальною.

Робота пов'язана з тематикою науково-дослідних робіт кафедри "Металорізальні верстати та системи" Центральноукраїнського національного технічного університету, зокрема з науковими темами «Підвищення ефективності технологічного обладнання з механізмами паралельної структури» (номер державної реєстрації № 0111U000304) та «Теоретичні основи проектування багатокординатних верстатів і машин з мехатронними стрижневими структурами та комп'ютерно-інтегрованими оптимальними робастними системами керування» (номер державної реєстрації № 0113U003084с).

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, та їх достовірність

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи в

повній мірі обґрунтовані з наукової і технічної точки зору. В теоретичних дослідженнях використано математичний апарат, що базується на положеннях теорії машин і механізмів, робототехнічних систем, векторної алгебри, теорії матриць і аналітичної геометрії. В експериментальних дослідженнях зроблено коректні припущення і сформульовано висновки на основі геометричного моделювання і математичного програмування. Достовірність викладених теоретичних положень підтверджено реалізацією розрахунків на комп'ютерній техніці з візуалізацією результатів обчислень. Цінними даними в експериментальних дослідженнях обробки на свердлильних і фрезерних операціях є створення автором діючого дослідного зразка верстата пентапода.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Відповідно до поставленої мети автором виконано розв'язання науково-технічної задачі підвищення вихідних характеристик БВПС зі спеціальним робочим органом (РО), шарніри якого мають спільну вісь, шляхом обґрунтування раціональної компоновки та геометричних параметрів, а також управління вихідними характеристиками шляхом цілеспрямованої зміни конфігурації розташування окремих шарнірних опор нерухомої основи верстата залежно від орієнтації РО та виду обробки.

Це дозволило отримати нові наукові результати:

1. Вперше розроблено узагальнену компоувальну схему і математичні моделі БВПС зі спеціальним РО, які характеризують розміщення опорних шарнірів у просторі, та відповідно вдосконалено його кінематичні залежності.

2. Вперше встановлено вплив компоновки та геометричних параметрів БВПС зі спеціальним РО на величину та форму РП та приведено до зони обробки жорсткість, що дало змогу встановити ділянки РП із максимальними показниками жорсткості, а значить, і відповідно з мінімальними похибками обробки деталей.

3. Вперше запропоновано та науково обґрунтовано метод підвищення приведеної просторової жорсткості та розширення РП БВПС зі спеціальним РО шляхом цілеспрямованої зміни конфігурації розташування окремих шарнірних опор нерухомої основи.

4. Практична цінність роботи

Запропоновані в роботі методи теоретичного розрахунку – визначені доцільні співвідношення між базовими параметрами БВПС зі спеціальним РО, які необхідно брати за основу при проектуванні їх конструкцій:

– розроблено і виготовлено робочу конструкцію БВПС зі спеціальним РО, на основі якої запропоновано математичні і фізичні моделі різних компоувальних схем, що є основою для їх подальшого удосконалення та практичної реалізації технологічних можливостей подібних верстатів;

- отримано теоретичні залежності об'єму та форми робочого простору (РП) від геометричних параметрів БВПС зі спеціальним РО, що дають змогу визначитися із необхідною компоункою обладнання на етапі проектування.

- запропоновано повністю придатну до практичного застосування інженерну методику визначення приведеної до зони обробки жорсткості БВПС зі спеціальним РО у просторі при різних варіантах орієнтації РО, що дає змогу встановити ділянки РП із максимальними показниками жорсткості для забезпечення точної обробки деталей та вузлів.

– запропоновано нові технічні рішення виконання БВПС зі спеціальним РО та їх елементів, які захищені патентами України.

Результати досліджень передані для використання у виробництві на НВФ «КІТ-КОНСАЛТИНГ»

Розробки автора дисертаційної роботи застосовано в навчальному процесі Центральноукраїнського національного технічного університету при викладанні курсів «Технологічне обладнання з паралельною кінематикою», «Мехатронні системи верстатів» та «Проектування машин та обладнання» .

5. Повнота викладу результатів в опублікованих працях

Результати і наукові положення дисертаційного дослідження достатньо повно відображено в 7 статтях, опублікованих в провідних наукових журналах, які внесені до переліку фахових видань. По результатах досліджень отримано 3 патенти України на корисні моделі, що підкреслюють значимість і завершеність роботи. Представлені 7 тез доповідей на науково-технічних конференціях свідчать про широку апробацію результатів роботи і їх відповідність галузевим проблемам сучасного машинобудування.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів та висновків, списку використаних джерел із 132 найменувань і додатків. Повний обсяг дисертації становить 199 сторінок, включаючи 107 рисунків і 12 таблиць. Список використаних джерел та додатки займають 42 сторінки.

У вступі представлені актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, наукова новизна і практичне значення, виділено особистий внесок, наведено інформацію про апробацію.

У першому розділі розглянуто сучасний світовий досвід створення БВПС на основі узагальнення та аналізу недоліків подібного верстатного і технологічного обладнання та наведено передумови створення високоефективних верстатних систем із спеціальним РО. Проаналізовано особливості будови та функціональні можливості БВПС, що визначають основні їх технічні властивості: кінематику, об'єм РП, жорсткість, швидкодію, маніпулятивність

Наведені аргументи обумовили актуальність теми, визначили її мету та задачі.

У другому розділі запропоновано теоретичну і експериментальну методику оцінки рухових і силових характеристик БВПС, та апробовано вимірювальну і навантажувальні системи для досліджень у наступних розділах дисертації. Вдосконалено однозначний аналітичний метод визначення

зворотної кінематики БВПС зі спеціальним РО. Особливістю даного розділу є розроблена схема побудови РП для одної із штанг БВПС зі спеціальним РО на основі геометричного методу. Розроблено конструкцію і виготовлено спеціальний РО для БВПС типу «пентапод». Обґрунтовано конструктивне виконання основних елементів БВПС, їх розташування у просторі та кількості шарнірів, розташованих на РО і несучій системі.

У третьому розділі представлено результати теоретичних досліджень рухових характеристик, робочого простору і просторової жорсткості БВПС зі спеціальним РО. Отримано залежності узгодженості рухів кінематичних ланок при здійсненні типових рухів РО, досліджено функціональні можливості від конструктивних параметрів БВПС, РО і їх компоновальних схем. На основі розроблених математичних моделей жорсткості механізму БВПС побудовано просторові діаграми приведеної поступальної жорсткості механізму з різною початковою орієнтацією РО вертикальною або горизонтальною у напрямках координатних осей. Визначено раціональну конструкцію спеціального РО, шляхом порівняння п'яти можливих варіантів з різним розташуванням шарнірів (різною кількістю шарнірів у групах) на РО.

В даному розділі автором визначено, що завдяки раціональному підбору діапазону зміни довжини кожної штанги стає можливим максимально наблизитись до необхідного заданого об'єму РП, що дасть змогу зменшити нераціональне використання ресурсів та усунути здороження. Автором встановлено раціональне розташування першого шарніра основи та запропоновано під час роботи верстата змінювати положення двох шарнірних опор вздовж координати Z, оскільки максимальна жорсткість при свердлінні із різною орієнтацією РО буде спостерігатись при крайньому верхньому розміщенні опор, а при фрезеруванні у крайньому нижньому положенні вздовж координати Z.

У четвертому розділі проведено експериментальне дослідження жорсткості БВПС із горизонтальною орієнтацією РО проведено експериментальні дослідження та на основі отриманих результатів, які наведені у додатку побудовано залежності похибки переміщення РО від зміни його положення відносно осі X в діапазоні від -0,075 м до 0,075 м, Y = -0,075 м, Z = 0,075 м при постійному навантаженні 100 Н вздовж осі X.

Виконано порівняння теоретично та експериментально визначених матриць жорсткості при горизонтальній та вертикальній орієнтації РО для різних положень у просторі виконано за елементами головної діагоналі матриць жорсткості та власними значеннями, а також побудованими еліпсоїдами жорсткості. В результаті автором встановлено, що максимальна різниця результатів теоретичних та експериментальних досліджень при горизонтальній орієнтації РО за елементами головної діагоналі матриць жорсткості складає 19,8%, а при вертикальній орієнтації 19,4 %, що є допустимою величиною. Максимальна різниця результатів за власними значеннями матриць при горизонтальній орієнтації РО складає 19,9 %, а при вертикальній орієнтації – 19,3%.

Для керування спеціальним РО БВПС розроблено алгоритм та програмне забезпечення з метою перевірки впливу конструктивних параметрів на його технічні можливості і точність. Проведено пробну обробку деталі складної форми. Обробку деталі виконано успішно відповідно до заданої траєкторії, контур оброблених карманів має чисту поверхню, розміри відповідають заданим.

У п'ятому розділі наведено розроблені практичні рекомендації та узагальнено етапи проектування БВПС зі спеціальним РО. Запропоновано основи модульного принципу будови елементів БВПС зі спеціальним РО. Розглянуто нові конструкції як кінематичних ланок БВПС зі спеціальним РО так і БВПС в цілому. Запропоновано та науково обгрунтовано підвищення приведеної просторової жорсткості та розширення РП БВПС зі спеціальним РО шляхом цілеспрямованої зміни геометричних параметрів верстата за рахунок зміни конфігурації розташування окремих шарнірних опор на нерухомій основі.

Проведено попередню техніко-економічну оцінку ефективності використання БВПС зі спеціальним РО.

В заключній частині наведені загальні висновки за основними теоретичними розробками автора, практичні рекомендації щодо впровадження в практику, відомості по застосуванню результатів на виробництві і в навчальному процесі.

В додатках представлені: результати розрахунків приведеної просторової жорсткості БВПС зі спеціальним РО, експериментально виміряні значення пружних переміщень, порівняння експериментально і теоретично визначених матриць жорсткості, документи щодо промислової апробації і передачі результатів роботи на виробничі підприємства; копії патентів на винаходи, що підтвержують цінність прийнятих нових рішень для практичного застосування і оформленими правами на інтелектуальну власність автора дисертаційної роботи.

Підсумовуючи оцінку змісту дисертації в цілому, можна відзначити, що поставлені в роботі задачі (їх 5) достатньо вирішені в 5-ти розділах дисертації, кожний з яких супроводжується окремими висновками, що підсумовуються в загальних висновках дисертації (8 висновків) і містять конкретні дані, в тому числі і числові, по отриманим теоретичним і експериментальним залежностям. Зміст і обсяг дисертаційної роботи "Підвищення вихідних характеристик багатокоординатних верстатів паралельної структури зі спеціальним робочим органом" має чітку структуру, супроводжується положеннями по обгрунтуванню значимості кожного розділу і пункту дисертації, а в тексті окремо зроблено акценти на нових результатах, що належать автору особисто.

7. Зауваження по змісту і оформленню дисертації

7.1. Назва та мета роботи оперують поняттям «вихідні» характеристики, – вказане поняття бажано строго визначити у тексті першого розділу дисертації ще до викладення задач дослідження.

7.2. Розрахункова схема на рис. 2.7 дисертації не включає згинну жорсткість стрижнів конструкції, та, відповідно, її не включає й відповідна

матриця жорсткості. Бажано було б більш детально проаналізувати вказаний аспект з одночасним представленням скінченно-елементного підходу до визначення жорсткісних характеристик.

7.3. З рис. 2.3 дисертації випливає, що у-координата точки B_i дорівнює $y_{B_i}=r \cdot \sin(\theta_i)$, в дисертації ж вказано $y_{B_i}=r \cdot \sin(\theta_i-180^\circ)$ (формула 2.16), що, до речі, дорівнює $r \cdot \sin(\theta_i-180^\circ) = -r \cdot \sin(\theta_i)$.

7.4. У формулах (2.1) та (2.2) на стор. 56 дисертації помилка у використанні зворотньої тригонометричної функції – потрібно використання функції *arccos*.

7.5. Автором роботи при експериментальному отриманні значень у четвертому розділі пружних переміщень робочого органу застосовано вимірювальні засоби з ціною поділки 2 мкм і 10 мкм (Розділ 2), однак додаток В, зокрема таблиця В.1 містить значення із десятими і навіть тисячними частками, наприклад 3,556 мкм.

7.6. Не зрозуміло для чого на стор. 78 окремо наведено стандартні засоби вимірювання і навантаження.

7.7. В п'ятому розділі дисертації наведено розрахунок економічної доцільності виготовлення і експлуатації багатокординатного верстату паралельної структури зі спеціальним робочим органом без посилання на джерело, тому потребує уточнення, чи є внесок автора в дану методику, чи вона тільки використана автором роботи.

Наведені зауваження носять методичний характер і не знижують значення отриманих результатів в дисертаційній роботі, яку виконано на високому науковому рівні.

8. Висновок

На підставі аналізу дисертації на тему "Підвищення вихідних характеристик багатокординатних верстатів паралельної структури зі спеціальним робочим органом" і опублікованих праць автора вважаю, що Шелепко Ольга Володимирівна є зрілим науковцем, здатним самостійно ставити і розв'язувати важливі науково-технічні задачі в галузі верстатів і машинобудування. Дисертація Шелепко О.В. є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові наукові результати. Ці результати допомагають вирішити важливу науково-технічну проблему - забезпечити і підвищити вихідні характеристики багатокординатних верстатів паралельної структури. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

Дисертаційна робота "Підвищення вихідних характеристик багатокординатних верстатів паралельної структури зі спеціальним робочим органом" по актуальності, змісту, науковому і практичному значенню відповідає вимогам пунктів 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів»,

затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 (зі змінами внесеними згідно Постанови Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015), що пред'являються до кандидатських дисертацій, а її автор, Шелепка Ольга Володимирівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.03.01 - "Процеси механічної обробки, верстати та інструменти".

Офіційний опонент
професор кафедри транспортних
систем і технічного сервісу
Херсонського національного
технічного університету,
д.т.н., доцент



Д.О. Дмитрієв

Підпис професора Дмитрієва Д.О.
завіряю, начальник відділу кадрів
ХНТУ



М.В. Танська