

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ТА МАШИН

ГЕРАСІМЮК ІВАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.914.31

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ
ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ НА БАЗІ
ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ

133 – Галузеве машинобудування

Автореферат
дипломної роботи магістра

Тернопіль 2019

Роботу виконано на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин
Шанайда Володимир Васильович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Паливода Юрій Євгенович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 27 травня 2019 р. в 12.⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії № 11 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №4, ауд. 4-101

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

а) Актуальність теми роботи.

Одним із головних напрямків розвитку вітчизняного і світового верстатобудування є перехід до агрегатно-модульного принципу компоновки верстатів із окремих комплектних вузлів-модулів. При вузловому проектуванні верстатів необхідно мати динамічні характеристики складових вузлів для визначення на їх основі динамічних характеристик верстата в цілому. При цьому відкривається можливість оцінювати якість майбутнього верстату, зокрема динамічну, ще на етапі проектування конструкції.

Робочому простору верстатів притаманна анізотропія динамічних характеристик, зокрема статичної і динамічної просторової жорсткості, яка залежить від відповідних характеристик складових вузлів, а також від компоновки і виготовлення конструкції. Анізотропія жорсткості верстата в зоні різання безпосередньо впливає на точність оброблених деталей, появу різноманітних макро- і мікропохибок обробки. Визначення просторової жорсткості верстату на етапі проектування надає можливість прогнозувати досягнуту точність обробки деталей на верстаті, а також об'єктивно призначити технологічні режими для їх обробки. Це створює проблему визначення просторової статичної і динамічної жорсткості верстатів, складених з окремих вузлів з власними пружними характеристиками.

Перехід до сучасних методів проектування металорізальних верстатів за агрегатно-модульним принципом з застосуванням комплектних вузлів і мехатронних модулів нагально вимагає розробки нової концепції проектування верстатів і розробки методології моделювання динаміки пружної системи верстату по частинах (підсистемах, вузлах), що являє актуальну науково-технічну проблему. Її вирішення дозволить на стадії проектування оцінити і забезпечити високу динамічну якість верстату, спроектованого за агрегатно-модульним принципом, а також відповідно (як наслідок) підвищити точність і продуктивність обробки на верстаті, що проектується

б) Мета і завдання.

Метою дипломної роботи є дослідження впливу компоновальних схем шпindelних вузлів та їх параметричних характеристик у твердотілих моделях на показники динаміки.

Для досягнення цієї мети у роботі поставлено наступні задачі:

- провести аналіз сучасних методик для аналізу параметричних та динамічних моделей шпindelних вузлів;
- визначити напрями та методи вирішення задачі комп'ютерного моделювання конструкцій шпindelних вузлів;
- провести аналіз схем формоутворення для забезпечення процесу механічної обробки;
- провести кінематичний аналіз приводу головного руху верстата з горизонтальною компоновкою головного виконавчого органу;
- визначити залежність динамічних показників шпинделя від типу схеми розміщення опор і від швидкохідності;

- визначити вплив основних компоновочних параметрів ШВ для раціонального вибору компоновочних параметрів при проектуванні нових конструкцій шпиндельних вузлів.

Об'єкт дослідження. Процеси механічної обробки параметричні, динамічні та твердотілі моделі шпиндельних вузлів.

Предмет дослідження. Компоновочні параметри та залежність АФЧХ шпиндельних вузлів від параметричних характеристик їх твердотілих моделей.

Методи дослідження. У теоретичних дослідженнях застосовано основні положення системного аналізу, математичної теорії матричного числення, технології машинобудування, конструювання металорізальних верстатів, теорії механічних коливань, динаміки верстатів, теорії автоматичного керування, методів математичного і комп'ютерного моделювання.

с) Наукова новизна отриманих результатів.

доведено доцільність використання прийомів параметризації 3D твердотілих моделей шпиндельних вузлів для дослідження їх динамічних характеристик та вибору їх найбільш раціональних параметрів на етапі проектування.

д) Практичне значення отриманих результатів.

Результати проведених досліджень та інженерного розрахунку можна використати при проектуванні нових конструкцій шпиндельних вузлів.

е) Апробація.

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались під час роботи 11-ї Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2019 р.) і опубліковані в збірнику:

Матеріали 11-ї Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ /Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2019 р.), 2019.- 403 с. – С. 119-120.

2. Структура роботи. Робота складається зі ступу, 9 розділів, висновків, списку літератури (27 найменувань) і додатку.

Загальний обсяг тестової частини – 159 сторінок, 12 таблиць, 57 рисунків.

3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

а) У **Вступі** відзначено актуальність теми магістерської роботи, сформульована мета виконання роботи, а також перелічено завдання, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети та комплексного наповнення дипломної роботи магістра.

б) **Перший "АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ"** розкриває зміст попередньо виконаних наукових досліджень за тематикою магістерської роботи, а також теоретичні засади, які покладені в основу як аналітичного дослідження, так і експериментального базису. Огляд та аналіз попередніх наукових та практичних досліджень дозволив зробити наступні висновки: концептуальний системний підхід щодо досліджень динамічної системи верстата по частинах (підсистемах, вузлах) розвинутий недостатньо; існуючі методи досліджень динамічної системи верстата по частинах призначені лише

для вирішення часткових задач або є занадто складними для практичної реалізації і потребують доопрацювання (в бік їх спрощення); для моделювання динамічної системи верстата по частинах (вузлах) відсутні спрощені моделі, які дозволяють оцінити динамічну якість пружної системи верстата, але без втрати точності оцінки; при аналізі жорсткості окремих вузлів верстата (наприклад, супорта чи шпиндельного вузла) використовуються еліпси, які характеризують жорсткість вузла тільки в окремій площині, а не у всьому тривимірному просторі, що недостатньо для оцінки пружності вузла в просторі; існуючі теоретичні підходи до визначення просторової жорсткості в зоні різання верстата ґрунтуються на припущеннях – еліпсоїд жорсткості використовується тільки як характеристика всієї обробної машини (робота чи верстата), хоча пружна система верстата має основні складові вузли з власними характеристиками жорсткості (власними еліпсоїдами жорсткості); окремі дослідження підтверджують вплив просторової жорсткості на точність обробки, але відсутні відомості про механізм безпосереднього формування видів траєкторій інструмента відносно заготовки, як причини утворення макро- і мікропохибок обробки.

с) У другому розділі **"ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ"** проведено аналіз формоутворюючих рухів, які можна забезпечити для виконання технологічних процесів механічної обробки різної складності. Подано опис основних рухів, які можуть виконуватись на верстаті. Представлені схеми формоутворення при виготовленні різних технологічних поверхонь.

d) У третьому розділі **"ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ВЕРСТАТУ"** здійснено аналіз компоновальних схем верстатного обладнання подібного типу. Обґрунтовано основні технічні характеристики верстату. Здійснено аналіз та теоретичне обґрунтування базових компоновальних схем подібного верстатного обладнання. Виходячи із заданих рухів інструмента відносно деталі, що обробляється, розглянуто всю сукупність можливих базових компоновок, за методом Ю. Д. Врагова і розроблено, обґрунтовано та описано раціональну компоновальну схему об'єкта дослідження

e) Четвертий розділ **"ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ"** включає вибір та обґрунтування принципової структурно-кінематичної схеми верстату, необхідний комплекс проектних розрахунків, які пов'язані із розробкою кінематичного ланцюга приводу головного руху верстата, детальним проектним розрахунком та вибором двигуна приводу головного руху верстата. Значна увага приділена аналізу базової конструкції шпиндельного вузла фрезерно-розточного верстата.

f) У п'ятому розділі **"ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК"** проведено аналіз інструментального забезпечення різних видів механічної обробки та контрольованого устаткування. Розраховано режими різання на кожну операцію. Проведено вибір технологічного обладнання.

g) Шостий розділ **"НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ"** включає розгляд питань, які пов'язані з аналізом параметричних та динамічних моделей шпиндельних вузлів верстатів з горизонтальною компоновкою. Проведено опис

розрахункової схеми динамічної моделі та комп'ютерне дослідження динамічної моделі. Виконано комплекс автоматизованих розрахунків та графічного моделювання, проведено аналіз отриманих результатів динамічного дослідження шпиндельного вузла на опорах кочення.

h) **Сьомий розділ "ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ"** містить комплекс необхідних економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних рішень. Розрахунковий економічний ефект становить 614340 грн. на рік.

i) **Восьмий розділ "ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ"** присвячений висвітленню питань, щодо забезпечення безпечних умов праці на виробництві та аналізу дій адміністративного та виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

j) **Дев'ятий розділ " ЕКОЛОГІЯ"** містить опис негативних факторів, які можуть впливати на екологічний стан навколишнього середовища та шляхи зменшення цього впливу у процесі виробничої діяльності.

4. ВИСНОВКИ

1. концептуальний системний підхід щодо досліджень динамічної системи верстата по частинах (підсистемах, вузлах) не дозволяє оцінити і, відповідно, забезпечити динамічну якість пружної системи верстата при агрегатно-модульному проектуванні конструкцій, складених із окремих вузлів-модулів;
2. для моделювання динамічної системи верстата по частинах (вузлах) відсутні спрощені моделі, які дозволяють оцінити динамічну якість пружної системи верстата, але без втрати точності оцінки;
3. існуючі теоретичні підходи до визначення просторової жорсткості в зоні різання верстата ґрунтуються на припущеннях, хоча пружна система верстата має основні складові вузли з власними характеристиками жорсткості (власними еліпсоїдами жорсткості);
4. параметричні 3D-моделі ШВ надають можливість здійснення параметричної оптимізації конструкції вузла при варіюванні його базовими компоновочними параметрами, які керують формою, розмірами і розташуванням елементів;
5. на динамічні характеристики ШВ суттєво впливають компоновочні параметри ШВ, зокрема такі його базові розміри – довжина шпинделя, діаметри в передній і задній опорах, міжопорна відстань, виліт консолі та хвостовика, вид приводного елемента;
6. очікуваний економічний ефект від проведених організаційних та конструктивних змін у приводі головного руху горизонтально-розточного-фрезерного верстата прогнозується в розмірі 624340 грн. на рік.

5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Шанайда В.В. Дослідження параметричних і динамічних моделей шпиндельних вузлів горизонтальної компоновки /Шанайда В.В., Герасімюк І.О. Матеріали ІІ Міжнародної студентської науково - технічної конференції /Тернопіль: Тернопільський національний

- технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2019 р.), 2019.- 403 с. С. 119-120.
2. Скляр Р., Шанайда В. Використання багатфункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.
 3. Скляр Р., Шанайда В. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компоновок верстатів з паралельною кінематикою / Р. А. Скляр, В. В. Шанайда // Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 — С. 74. — (Машинобудування). <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/17396>
 4. Скляр Р. А. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів / Р. А. Скляр, Шанайда В. В. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Обладнання і технології сучасного машинобудування“, 11-12 травня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 155–156. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/22711>
 5. Луців І.В. Теорія технічних систем /Ю.М.Кузнецов, Ю.К.Новосьолов, І.В.Луців – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 246 с.
 6. Кудинов В.А. Поузловой анализ динамических характеристик упругой системы станка. / В.А.Кудинов, В.М.Чуприна // Станки и инструмент, 1989. – №11. – С.8-11..
 7. Чуприна В.М. Метод поузлового исследования динамических характеристик упругой системы станка как модульной структуры. / В.М.Чуприна // Известия ВУЗов. Машиностроение. – М., 1986, №9. – С. 124-130.
 8. Чуприна В.М. Динамічний розрахунок шпindelних вузлів у САПР металорізальних верстатів. / В.М.Чуприна, Ю.С. Липлянський // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки" – Чернігів, 2001. – № 13. – с.44-51.
 9. Наукові основи оцінки динамічної якості верстатів і їх вузлів при агрегатно-модульному проектуванні [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 / Чуприна Володимир Михайлович ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського". - Київ, 2017. - 466 с.
 10. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках/ Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
 11. Vitenko T., Shanaida V., Drożdziel P., Madlenak R. Features of creating a solid models and assembly operations at CAD-systems. W: EDULEARN 17 : 9th International Confrence on Education and New Learning Technologies, Barcelona (Spain), 3rd-5th of July, 2017. p. 7464-7469 .
 12. Ясєв О.Г., Расчубкін В.Г. Моделювання динаміки технічних систем з використанням пакета програм Mathcad: Навч. посібник (рос. мовою). – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 76 с.
 13. Кривий П.Д. Трудомісткість конструювання та виготовлення металорізальних і деревообробних верстатів: Навчальний посібник/ Кривий П.Д., Шарик М.В., Сотник І.П. – Тернопіль: ТДТУ, 2005. – 128 с.

6. АНОТАЦІЇ

Герасімюк І.О.; "Дослідження параметричних і динамічних моделей шпиндельних вузлів горизонтальної компоновки на базі фрезерних верстатів". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2019 р.

У дипломній роботі розглянуті питання, які пов'язані з аналізом динамічних моделей шпиндельних вузлів верстатів в залежності від їх геометричних та компоновальних параметрів, дослідженням комплексу формотворних рухів та розробкою компоновальних схем верстата для їх повного або часткового забезпечення. Реалізовано проектний розрахунок кінематичного ланцюга приводу головного руху верстата. Запропоновано широко використовувати параметричні моделі шпиндельних вузлів у комп'ютерному моделюванні процесів на етапі їх проектування. У процесі комп'ютерного моделювання нами встановлено, що окремі динамічні характеристики шпиндельних вузлів мають не лінійну залежність від компоновальної структури та геометричних параметрів, які її визначають. За результатами проведених комп'ютерних досліджень встановлено найбільш раціональні геометричні параметри шпиндельного вузла та співвідношення між діаметром шпинделя в передній опорі, міжопорною відстанню, консоллю у передній опорі та вильотом кінця шпинделя.

Ключові слова: динамічні характеристики, параметричні моделі, шпиндельний вузол.

Gerasimjuk I.O.; "Investigation of milling machine-mounted parametric and dynamic models of spindle units of horizontal format". 133 - industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2019.

The dissertation includes an analysis of the problems associated with the analysis of dynamic models of spindle units of machine tools, depending on their geometric and layout parameters, the study of the complex forming forces and the development of layout circuits of the machine for their full or partial maintenance. Implemented project calculation and design of individual units of the machine. It is proposed to widely use parametric models of spindle units in computer modeling of processes at the stage of their design. In the process of computer modeling, we have established that the individual dynamic characteristics of the spindle units have no linear dependence on the layout structure and geometric parameters that determine it. According to the results of computer researches, the most rational geometric parameters of the spindle units and the ratio between the spindle diameter in the forward support, the intermediate distance, the console in the forward support and the outflow of the spindle end are established.

Key words: dynamic characteristic, parametric model, spindle unit.