

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

ВЕГЕРА НАДІЯ ОЛЕКСІЇВНА

УДК УДК 621.914.32

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ
ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ**

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. о 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.

Така технологічна машина, як вертикально-фрезерний верстат із сучасною системою числового програмного керування, відноситься до категорії обладнання, призначеного для різних видів обробки металевих заготовок. Такі верстати мають широкий спектр функціональних можливостей і дозволяють виконувати операції з металевими деталями самої різної геометричної та технологічної складності.

Ефективність верстатного обладнання, на сьогоднішній день, оцінюється не тільки його технічними характеристиками, але й економічними показниками. Серед таких показників слід виділити зменшення потужності двигунів приводу головного руху, двигунів приводу подач, зменшення штучного часу механічної обробки. Вище перелічені показники, як і ряд інших, попри різноплановість своєї природи мають і спільну характеристику, а саме інерційність системи, яка забезпечує передачу крутного моменту від двигунів у зону обробки чи до приводів переміщення. Не менш важливо скоротити час за який відбудеться повна зупинка виконавчих рухів і можна приступати до подальшого обслуговування предмету виробництва, і верстатного обладнання.

б) Мета і завдання.

Метою дипломної роботи є дослідження впливу технологічних параметрів процесу механічної обробки на величини рушійних силових факторів та інерційних і жорсткісних параметрів елементів приводу головного руху верстата мод. 65Б60ПФ4 на кінематичну точність різального інструменту.

Для досягнення цієї мети у роботі поставлено наступні задачі:

- провести аналіз сучасних методик для аналізу напружено-деформованого стану об'єкта досліджень;
- визначити напрями та методи вирішення задачі напружено-деформованого стану конструктивних елементів в тримірній об'ємній постановці;
- провести аналіз схем формоутворення для забезпечення процесу механічної обробки
- провести дослідження впливу параметрів режиму різання ті інерційних характеристик елементів приводу геометричних параметрів на кінематичну точність різального інструменту.

Об'єкт дослідження. Процеси механічної обробки при обробці деталей на верстаті мод. 65Б60ПФ4.

Предмет дослідження. Характеристики напружено-деформованого стану елементів для передачі крутного моменту приводу головного руху верстата мод. 65Б60ПФ4: пружні переміщення (жорсткість) елементів профілю приводу та різального інструменту.

Методи дослідження. В основу роботи покладено фундаментальні положення теорії передачі та трансформації крутного моменту з використанням методу кінцевих елементів, методів математичної теорії пружності, теорії міцності, математичного аналізу та технології машинобудування.

с) Наукова новизна отриманих результатів.

доведено доцільність вкорочення кінематичного ланцюга приводу головного руху для зменшення динамічних навантажень на елементи приводу головного руху верстата.

д) Практичне значення отриманих результатів.

Результати проведених досліджень та інженерного розрахунку можна використати при проектуванні нових конструкцій приводу головного руху.

е) Апробація.

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались під час роботи Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, (м. Тернопіль, 24-26 квітня 2018 р.) і опубліковані в збірнику:

тез Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ / В 2 т. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-26 квітня 2018 р.), 2018.- Т. 1. С. 178-179.

2. **Структура роботи.** Робота складається зі ступу, 9 розділів, висновків, списку літератури (29 найменувань), 2 додатків.

Загальний обсяг тестової частини – 153 сторінки, 10 таблиць, 26 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: на сьогоднішній день істотне зростання швидкостей різання неухильно підвищує динамічні навантаження у зоні різання. В умовах підвищеної конкуренції на ринку технологічного устаткування виробникам металорізальних верстатів необхідно забезпечувати найвищу якість виготовленої продукції. Для оцінювання якості верстатів застосовуються різні показники – точність, жорсткість, температурні деформації та інші. Також важливими показниками є динамічні показники, які забезпечують високу динамічну якість верстатів під час роботи. Проведений огляд літературних джерел дозволив зробити наступні висновки:

1. На базі діакоптичного підходу до аналізу складних систем по частинах для визначення просторової жорсткості (або податливості) пружної системи металорізального верстату запропонована розрахункова модель, яка складається з двох головних підсистем - інструмента і деталі.
2. Спираючись на тензорно-геометричний опис жорсткості головних підсистем верстату (інструмента і деталі) у вигляді еліпсоїдів жорсткості (податливості), розроблено алгоритм знаходження величини статичної

жорсткості (податливості) пружної системи верстату в зоні різання в довільному напрямку тривимірного простору.

3. Тензорно-геометрична модель просторової жорсткості верстату у формі 3Dповерхні дає можливість визначення величини жорсткості (податливості) в будь-якому напрямку робочого простору.
4. На основі побудованої 3D-поверхні можна знайти величину деформації верстату в зоні різання від діючого силового навантаження, зокрема відтиснення інструменту від деталі, яке безпосередньо впливає на точність обробки – розміри і форму деталі. Таким чином, можна встановити безпосередній зв'язок просторової жорсткості (податливості) верстату з точністю обробки деталей на верстаті.

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.

д) У третьому розділі **"ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ВЕРСТАТУ"** здійснено аналіз компоновальних схем верстатного обладнання подібного типу. Обґрунтовано основні технічні характеристики верстату. Проведено обґрунтування модулів верстата, які однозначно його характеризують та вирізняють із загальної номенклатури верстатного парку. 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

е) Четвертий розділ **"КІНЕМАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ"** 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 приводу головного руху досліджуваного верстата. Отримані результати задовольняють граничні умови щодо проектування верстатного обладнання фрезерної групи.

ф) У п'ятому розділі **"ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК"** проведено аналіз конструкторсько-технологічних особливостей об'єкта виробництва та його функціонального призначення. Здійснено аналіз базового технологічного процесу механічної обробки. Розраховано режими різання на кожну операцію. Проведено вибір технологічного обладнання.

г) Шостий розділ **"НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ"** включає розгляд питань, які пов'язані з аналізом динамічної моделі приводу головного руху досліджуваного верстата. Проведено опис розрахункової схеми динамічної моделі та комп'ютерне моделювання динамічної моделі в середовищі

багатофункціонального інженерно-математичного пакету MathCAD. Виконано комплекс автоматизованих розрахунків та проведено аналіз отриманих результатів динамічного дослідження приводу головного руху верстата.

h) **Сьомий розділ "ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ"** містить комплекс необхідних економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних рішень. Розрахунковий економічний ефект становить 200744 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. за критерієм мінімізації статичної податливості системи ВПД найбільш раціональним параметром, який визначає діаметр шпинделя в передній опорі є $d_{оп} = 115$ мм, а міжопорна відстань $l_{оп} = 321$ мм;
2. за критерієм мінімізації першої резонансної частоти w_{r1} найбільш раціональним параметром, який визначає діаметр шпинделя в передній опорі є $d_{оп} = 111$ мм, а міжопорна відстань $l_{оп} = 363$ мм;
3. за критерієм мінімізації амплітуди коливань при першій резонансній частоті A_{r1} найбільш раціональним параметром, який визначає діаметр шпинделя в передній опорі є $d_{оп} = 113$ мм, а міжопорна відстань $l_{оп} = 311$ мм;
4. доведено раціональність заміни багатоступеневих коробок швидкостей на приводи із безступеневим регулюванням швидкості обертання шпинделя;
5. результати отримані на базі розробленої динамічної моделі шпинделя підтверджують доцільність вилучення із системи приводу пасової передачі і використання прямого приводу (одноступеневого) на вал шпинделя.
6. очікуваний економічний ефект від проведених організаційних та конструктивних змін у приводі головного руху вертикально-фрезерного верстата прогнозовано в розмірі 200744 грн. на рік.

5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Шанайда В.В. Комп'ютерне дослідження динамічних характеристик елементів модифікованого приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата /Шанайда В.В., Вегера Н.О. Міжнародна студентська науково-технічна конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання “ / В 2 т. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-26 квітня 2018 р.), 2018.- Т. 1. С. 178-179.
<http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/24948>
2. Склярів Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального 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. Струтинський В.Б. Тензорні математичні моделі процесів та систем: Підручник. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 635 с.
 7. Струтинський В.Б. Багатокритеріальна оптимізація компоновок шпindelних вузлів металорізальних верстатів на опорах кочення / В.Б.Струтинський, В.М.Чуприна // Системи озброєння і військова техніка. — 2016. — № 3(47). — С. 106-111.
 8. Чуприна В.М. Динамічні розрахунки верстатів та їх вузлів за методом кінцевих елементів у САПР/ Чуприна В.М. Вісник чернігівського державного технологічного університету. № 2 (65), 2013. с. 81-91.
 9. Чуприна В.М. Діакоптичний підхід в дослідженні динаміки верстату по частинах / В.М. Чуприна // Промислова гідравліка і пневматика. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції. – Чернігів: ЧДТУ, 2012. – С.68.
 10. 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.
 11. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках/ Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
 12. Олейников И.А. Практическое использование пакета Mathcad при решении задач: учеб. пособ. / И.А. Олейников. – М.: РГОТУ, 2002. – 114 с.
 13. Ясев О.Г., Расчубкін В.Г. Моделирование динамики технических систем с использованием пакета программ Mathcad: Навч. посібник (рос. мовою). – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 76 с.
 14. 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.
 15. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонентики)./ Врагов Ю.Д. –М: Машиностроение, 1978. – 208 с.

6. АНОТАЦІЇ

Вегера Н.О.; "Дослідження динаміки приводу головного руху вертикально-фрезерного верстату". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2019 р.

У дипломній роботі розглянуті питання, які пов'язані з аналізом технологічного процесу механічної обробки деталі, 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 модернізувати коробку швидкостей вертикально-фрезерного верстата шляхом видалення проміжних валів для регулювання швидкостей і заміни асинхронного двигуна на високомоментний двигун постійного струму. У процесі комп'ютерного моделювання нами встановлено, що зменшення кількості кінематичних пар, які одночасно беруть участь у передачі крутного моменту сприятиме зменшенню динамічних навантажень та підвищенню точності переміщення інструменту у зоні обробки через усунення джерела вимушених коливань. За результатами проведених комп'ютерних досліджень та аналітичних розрахунків підтверджено доцільність вкорочення кінематичного ланцюга приводу головного руху, що також приведе до зменшення моменту інерції приводу головного руху для таких типів верстатів в цілому.

Ключові слова: динамічні характеристики, привід головного руху, вертикально-фрезерний верстат.

Vegera N.O.; " Study of main motion drive dynamics of a vertical milling machine ". 133 - industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2019.

Thesis includes issues related to the analysis of the process of machining parts, research complex movements shaping and developing the machine layout schemes for their full or partial support. Implemented project calculation and design of individual units of the machine. It is proposed to upgrade the gear box speed of the vertical milling machine by removing a few layshafts for speed control and replacing the asynchronous motor with a high-speed DC motor. In the process of computer modeling, we also take into account that reducing the number of kinematic pairs that simultaneously participate in the transmission of torque will the reduction of dynamic loads and increase the accuracy of moving the tool in the processing area through the removal of the source of forced oscillations. According to the results of computer research and analytical calculations, the expediency of shortening the kinematic chain of the main motion drive has been confirmed, which will also lead to a decrease in the moment of inertia of the main drive for such types of machine tools in general.

Key words: dynamic characteristic, main motion drive, vertical milling machine.