

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

ПОТІЧКО АНАТОЛІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 621.9

**КОМП'ЮТЕРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ РАДІАЛЬНО-
СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТУ**

133 – Галузеве машинобудування

Автореферат
дипломної роботи магістра

Тернопіль 2018

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 23 лютого 2018 р. з 13⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії № 10 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.

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.

Таким чином, актуальність роботи визначається необхідністю розрахунку і проектування різноманітних модифікованих геометричних профілів елементів конструкції верстатного обладнання у зв'язку з підвищенням вимог до мінімізації їх динамічного впливу на процеси у зоні різання.

б) Мета і завдання.

Метою роботи є аналіз варіантів технічних рішень для підвищення ефективності роботи верстатного обладнання свердильної групи, зокрема радіально-свердильних верстатів.

Для досягнення цієї мети у роботі вирішено наступні задачі:

- провести аналіз теоретичної бази для проектування конструктивних елементів шпиндельних вузлів (ШВ) верстатів з врахуванням динамічних характеристик та фізичного навантаження елементів приводу головного руху верстата;
- провести аналіз сучасних методик для аналізу динамічних процесів як у зоні різання так і у ланцюгу приводу головного руху;
- виконати технологічний аналіз об'єкта виробництва, виконати комплекс розрахунків для визначення навантажень у процесі механічної обробки;
- провести аналіз схем формоутворення та можливих компоновочних схем верстата для забезпечення процесу механічної обробки
- провести кінематичний розрахунок приводу головного руху верстата;
- провести конструювання окремих елементів верстатного обладнання;
- провести дослідження деформацій у характерних точках шпиндельного вала радіально-свердильного верстата.

с) Об'єкт, методи та джерела дослідження.

Об'єкт дослідження. Елементи приводу головного руху радіально-свердильного верстата мод. 2М55.

Предмет дослідження. Вплив інерційних характеристик елементів приводу головного руху та характеру їх навантаження на деформаційні та швидкісні параметри виконавчих елементів у зоні різання.

Методи дослідження. В основу роботи покладено фундаментальні положення методу кінцевих елементів, методів теорії пружності, теорії міцності, математичного аналізу.

д) Наукова новизна отриманих результатів.

доведено доцільність вкорочення кінематичного ланцюга приводу головного руху для зменшення динамічних навантажень у зоні обробки.

е) Практичне значення отриманих результатів.

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

ф) Апробація.

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались на міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листоп. 2017.) і опубліковані в збірнику:

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листоп. 2017.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – 226 с. – С. 178.

2. Структура роботи. Робота складається зі ступу, 9 розділів, висновків, списку літератури (45 найменувань), 2 додатків.

Загальний обсяг тестової частини – 151 сторінок, 20 таблиць, 48 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. Динамічна якість металорізального верстата визначається такими основними показниками: вібростійкістю, відхиленням при зовнішніх впливах і швидкодією системи

На сучасному етапі розвитку ІТ-технологій все більшого розповсюдження набувають системи автоматизованого проектування (САПР) для створення різних технічних об'єктів, у тому числі металорізальних верстатів. Для визначення вихідних параметрів якості об'єкта під час проектування використовується прототипування конструкцій у вигляді 3D-моделей – електронних тривимірних твердотілих моделей. 3D-модель по суті є

математичним описом реального об'єкта, в якому кожний елемент конструкції (лінія, поверхня, тіло) описаний математичними залежностями. Тому усі необхідні розрахунки при моделюванні верстатів у САПР доцільно виконувати з використанням розроблених 3D-моделей. Сучасний математичний апарат дозволяє розглядати складні об'єкти як системи з розподіленими параметрами, які описуються диференціальними рівняннями в частинних похідних. На сьогодні найбільш поширеним методом розв'язку таких задач є метод кінцевих елементів (МКЕ) [5]. Він відноситься до діакоптичних методів дослідження систем по частинах (елементах). МКЕ може ефективно використовуватись для динамічних розрахунків різноманітних конструкцій, у тому числі і верстатів.

с) У другому розділі **"ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ"** проведено аналіз конструкторсько-технологічних особливостей однієї із деталей, яку обробляють на досліджуваному верстаті, проведено комплекс технологічних розрахунків, здійснено аналіз формуютьсхем, які можна реалізувати на цьому верстаті при виконанні технологічного процесу механічної обробки цієї деталі. Сформовано структурно-кінематичну схему досліджуваного верстата. Значна увага приділено аналізу компоновальних схем верстатного обладнання подібного типу. Здійснено глибокий аналіз верстатного забезпечення для обраної групи верстатів, що мають подібні набори модульних комплектів, технологічних та конструктивних модулів. Обґрунтовано обрання найбільш раціонального варіанту компоновки верстата для обраного типу верстатного обладнання.

д) У третьому розділі **"ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ НА РОЗРОБКУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК"** здійснено комплекс технологічних розрахунків щодо аналізу точності механічної обробки при раціональному підборі системи базування деталі та оптимального проектування раціонального варіанту технологічного процесу механічної обробки деталі-представника. Розраховано режими різання на різні операції механічної обробки, які слугують вихідними даними для розробки наступного розділу дипломної роботи.

е) Четвертий розділ **"ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ"** включає необхідний комплекс проектних розрахунків, які пов'язані із розробкою кінематичного ланцюга приводу головного руху верстата, детальним проектним розрахунком елементів конструкції ШВ та КШ верстата. Значна увага приділена розрахунку валів коробки швидкостей на міцність та жорсткість. Отримані результати задовольняють граничні умови щодо проектування універсального верстатного обладнання свердлильної групи.

ф) У п'ятому розділі **"НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ"** проведено дослідження напружено-деформованого стану вала шпинделя у зонах посадки зубчастих коліс. Встановлено, що при передачі робочого навантаження граничні напруження не перевищують 86-92 МПа. Досліджено частоти власних коливань вала шпинделя у розподілі за гармоніками.

Встановлено, що жодна із діапазону частот не співпадає із збуджуючою частотою з діапазону регулювання швидкостей. Сформовано та досліджено динамічну модель для вивчення впливу динамічних характеристик елементів приводу головного руху на зміну кругових коливань виконавчого елементу у зоні різання. Встановлено, що сумарні крутильні відхилення виконавчих органів у процесі обробки можна зменшити на 45–55% за рахунок вкорочення кінематичного ланцюга приводу головного руху. Запропоновано модернізувати коробку швидкостей радіально-свердлильного верстата шляхом видалення перших трьох валів регулювання і заміни асинхронного двигуна потужністю на високомоментний двигун постійного струму. Підтверджено доцільність вкорочення кінематичного ланцюга приводу головного руху, що приведе до зменшення сумарного моменту інерції приводу головного руху на 50-65%.

г) **Шостий розділ "СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ (комп'ютерні розрахунки та автоматизоване проектування)"** включає розгляд питань, які пов'язані з автоматизованим проектуванням зубчатих передач та автоматизації розрахунку режимів різання свердлильних верстатах з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

h) **Сьомий розділ "ОБґРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ"** містить комплекс необхідних економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних рішень. Розрахунковий економічний ефект становить 59282 грн. на рік.

і) **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

4.1.Проведений технологічний аналіз базового ТП виготовлення корпусу КС6Б-09.118 дозволив зробити висновок про можливість скорочення кількості верстатного обладнання шляхом розширення його технологічних можливостей.

4.2.Кінематичні та точнісні параметри верстата моделі 2М55 після модифікації конструкції приводу головного руху найбільш повно відповідають виробничим потребам.

4.3.Сумарні крутильні відхилення виконавчих органів у процесі обробки можна зменшити на 45–55% за рахунок вкорочення кінематичного ланцюга приводу головного руху.

4.4.Шляхом проведення 3D моделювання елементів приводу головного руху ми визначили, що для встановлення усталеного обертового руху всіх валів коробки швидкостей додатково затрачається 0,3 – 0,5 кВт електроенергії залежно від необхідної швидкості обертання шпиндельного вала.

- 4.5.Запропоновано модернізувати коробку швидкостей радіально свердлильного верстата шляхом видалення перших трьох валів регулювання і заміни асинхронного двигуна потужністю 5,5 кВт на високомоментний двигун постійного струму потужністю 4,7 ... 5,0 кВт.
- 4.6.Зменшення кількості кінематичних пар, які одночасно беруть участь у передачі крутного моменту сприяє зменшенню шумового навантаження на верстатника на 7-12%.
- 4.7.Підтверджено доцільність вкорочення кінематичного ланцюга приводу головного руху, що приведе до зменшення сумарного моменту інерції приводу головного руху на 50-65%.
- 4.8.Очікуваний економічний ефект від проведених організаційних, технологічних та конструктивних змін у приводі головного руху радіально-свердлильного верстата передбачається в розмірі 59282 грн. на рік.

5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Шанайда В.В. Комп'ютерне дослідження динамічних характеристик елементів приводу головного руху радіально-свердлильного верстата /Шанайда В.В., Потічко А.С. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листоп. 2017.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – 226 с. –С. 178.
2. СКЛЯРОВ, Р., ШАНАЙДА, В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей X VI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.
3. Шанайда В. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Складов Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.117-125.
4. Луців І.В. Теорія технічних систем /Ю.М.Кузнєцов, Ю.К.Новосьолов, І.В.Луців – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 246 с.
5. 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.
6. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках/ Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
7. 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.
8. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонетики)./ Врагов Ю.Д. –М: Машиностроение, 1978. – 208 с.

9. Расчет деталей и узлов металлорежущих станков с использованием ЭВМ/ С.А.Дубиняк, С.Г.Нагорняк, И.В.Луцив, И.Д.Дубецкий :Киев УМК ВО, 1989. – 152 с.

6. АНОТАЦІЇ

Потічко А.С.; "Комп'ютерне дослідження динамічних характеристик елементів приводу головного руху радіально-свердлильного верстату". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2018 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 та розробку окремих вузлів верстата. Запропоновано модернізувати коробку швидкостей радіально-свердлильного верстата шляхом видалення перших трьох валів для регулювання швидкостей і заміни асинхронного двигуна на високомоментний двигун постійного струму. У процесі комп'ютерного моделювання нами також враховано, що зменшення кількості кінематичних пар, які одночасно беруть участь у передачі крутного моменту сприятиме зменшенню вібрацій на траверсі через усунення джерела вимушених коливань. За результатами проведених комп'ютерних досліджень засобами 3D моделювання 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, шпиндель.

Potichko A.S.; "Computer-aided research of dynamic characteristics of main motion drive elements of radial-drilling machine". 133 - industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2018.

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 radial-drilling machine by removing the first three shafts 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 constrain the reduction of vibrations on the traverse through the removal of the source of forced oscillations. According to the results of computer research conducted by means of 3D modeling 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, spindle.