

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

ДЕМКІВ ТАРАС МИХАЙЛОВИЧ

УДК 621.9.06

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ КОРПУСА ШПИНДЕЛЬНОЇ БАБКИ ЗІ
СТАНИНОЮ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ НА ОСНОВІ 3D
МОДЕЛЕЙ»**

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
Склярів Руслан Анатолійович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

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

Захист відбудеться 22 лютого 2018 р. о 9⁰⁰ 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. В1

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

а) Актуальність теми роботи.

Актуальність роботи. На сьогоднішній день машинобудування визначає масштаби і темпи розвитку науково-технічного прогресу. Його успіхи залежать від того, наскільки повно будуть використані, а потім розвинуті можливості, якими технологія машинобудування володіє.

При створенні металорізальних верстатів нового покоління відстежуються чіткі тенденції їх розвитку. Це підвищення продуктивності та точності обробки, підвищення рівня механізації і автоматизації верстатів, розширення технологічних можливостей обладнання та використання сучасних комплектуючих виробів і матеріалів.

Конструкції створюваних верстатів повинні бути перспективними, тобто відповідати вимогам завтрашнього дня. При розробці нового верстата треба закласти в проектування певний запас досконалості і новизни рішень його певних елементів в порівнянні з вже існуючими.

Для скорочення часу проектування верстатів широко використовують сучасні та передові технології проектування, які дозволяють суттєво скоротити терміни проектування та створити конкурентоспроможне обладнання.

Застосування чисельних методів є особливо ефективним для проектування конструкцій зі складною геометрією (до яких можна віднести шпindelьні бабки) та методів які враховують фізико-механічні властивості матеріалу, при складних граничних умовах.

Саме тому тема «Дослідження динамічних характеристик процесу взаємодії корпусу шпindelьної бабки зі станиною токарного верстату на основі 3D моделей» є актуальною.

б) Мета і завдання.

Метою роботи є розробка конструкції шпindelьної бабки верстату з ЧПК для обробки деталі типу вал з використанням 3-D моделей та дослідження її напружено-деформованого стану.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі основні задачі:

- здійснити аналіз конструктивно-технологічних властивостей деталі–представника;
- здійснити вибір комплекту рухів по забезпеченню механічної обробки деталі на проєктованому верстаті та провести оптимізацію його схем формоутворення;
- провести аналіз типових базових компоновок верстатів та здійснити обґрунтування умов відбору компоновок і вибір можливих варіантів;
- провести технологічні розрахунки та на їх основі здійснити обґрунтування вихідних даних та розробку верстатного обладнання;
- провести вибір та обґрунтування структурно–кінематичної та кінематичної схеми верстату;
- здійснити проектування конструкції верстатного обладнання;
- провести дослідження напружено-деформованого стану шпindelьної бабки верстату з ЧПК для обробки деталі типу вал;
- провести розрахунок силових зміщень корпусу шпindelьної бабки;

- здійснити автоматизовані розрахунки окремих вузлів верстатів;
- здійснити обґрунтування економічної ефективності прийнятих рішень;
- вирішити питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;
- провести розробку питань екологічного характеру.

с) Об'єкт, методи та джерела дослідження.

Об'єкт дослідження – токарний верстат з ЧПК.

Предмет дослідження – шпиндельна бабка токарного верстату з ЧПК.

Методи дослідження. В основу роботи покладено основи теорії систем, методи математичного аналізу, метод скінчених елементів, теорія компоновок верстатів запропонована Враговим Ю.Д.

д) Наукова новизна отриманих результатів.

на основі розробленої 3-D моделі проведено дослідження напружено-деформованого стану шпиндельної бабки токарного верстату з ЧПК та отримані значення зміщень точок в області опорних отворів під підшипники для двох варіантів (без врахування та з врахуванням податливості стиків).

е) Практичне значення отриманих результатів.

результати проведених досліджень та інженерного розрахунку можна використати при проектуванні нових конструкцій токарних верстатів з ЧПК.

ф) Апробація.

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались на ІХ Всеукраїнській студентській науково - технічній конференції (Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 20-21 квітня 2016 р.) та VI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 16–17 листоп. 2017) і опубліковані в збірниках:

Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науково - технічної конференції / В 2 т. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 20-21 квітня 2016 р.), 2016.- Т. 1. - 245 с., - С. 154.

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів [том 1, 2 ,3], (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.(том 1), С. 88-89.

2. Структура роботи. Робота складається зі вступу, 9 розділів, висновків, переліку посилань, додатків.

Загальний обсяг роботи – 230 сторінок, 34 таблиці, 84 рисунків.

3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

а) У **Вступі** відзначено актуальність теми магістерської роботи, сформульована мета виконання роботи, а також перелічені основні завдання, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети.

б) **Перший розділ «АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ»** розкриває зміст попередньо виконаних наукових досліджень за тематикою магістерської роботи, та теоретичні засади, які покладені в основу наукового дослідження. Огляд та аналіз попередніх наукових та практичних досліджень дозволив зробити наступні висновки: при розрахунку деформацій корпусних деталей металорізальних верстатів в основному застосовують аналітичні методи та метод кінцевих елементів. Перевагою аналітичних методів є їх відносна простота, а

також те, що використовувані аналітичні формули наочно показують вплив того або іншого параметра конструкції, що розраховується на її зміщення, наявність можливості швидко порівняти різні варіанти конструкції. Для кінцево-елементних розрахунків корпусних деталей металорізальних верстатів в основному використовуються два типи кінцево-елементних моделей: із пластинчастих елементів; зі стержневих елементів і жорстких тіл.

На сьогоднішній день при проведенні кінцево-елементних розрахунків корпусних деталей металорізальних верстатів використовуються, як правило, спрощені моделі, що не враховують місцеві деформації окремих конструктивних елементів корпусних деталей і взаємний вплив один на одного деформацій окремих корпусних деталей, спрощені схеми закріплення й навантаження корпусних деталей. В якості результатів кінцево-елементних розрахунків розглядаються розрахункові зміщення окремих точок несучої системи. Не оцінюються відхилення розмірів і форми оброблюваних деталей, обумовлені деформаціями несучої системи.

с) У другому розділі **«ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ»** здійснено аналіз конструктивно-технологічних властивостей деталі *«Вал 6724576»*, яку обробляють на досліджуваному верстаті. Розглянувши необхідні для обробки деталі схеми формоутворення можемо зробити такий висновок, що доцільним є виконання даних операцій на токарному верстаті з ЧПК. На основі аналізу формоутворюючих рухів розроблено структурно-кінематичну схему досліджуваного верстата. Значну увагу приділено аналізу компоновальних схем верстатного обладнання подібного типу. Розглянуто типові компоновки та базові моделі токарних верстатів, які серійно випускаються та широко використовуються на виробництві.

д) У третьому розділі **«ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК»** проведено порівняльний аналіз двох варіантів технологічного процесу, здійснено вибір раціонального маршруту обробки деталі. Аналітичними та табличними методами призначено режими різання на різні операції механічної обробки. Проведені розрахунки дозволили сформуванати вихідні дані 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. В даному розділі також здійснено формування вимог до конструкції шпиндельного вузла, та вибору початкових умов для оптимізації ШВ верстата. Здійснено розрахунок конструкції приводу поперечних подач.

ф) П'ятий розділ **«НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ»** – розглянуто випадок приведення зміщень корпусу шпиндельної бабки до зони різання. При цьому проведено розрахунок зміщення, приведенного до зони різання, а також визначені складові похибки обробки, обумовлені деформаціями корпусу шпиндельної бабки. За допомогою програми APM Structure 3D проведено розрахунок напружено-деформованого стану коробки шпиндельної бабки токарного верстату. Отримані карти результатів напружень, переміщень, головних

напружень та деформацій в корпусі шпиндельного вузла токарного верстату. Проведено моделювання дослідження динамічних характеристик процесу взаємодії шпиндельної бабки зі станиною при токарній обробці.

г) **Шостий розділ «СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА»** включає розгляд питань, які пов'язані з автоматизованим розрахунком зубчастої передачі та оптимізації параметрів шпиндельного вузла верстату з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

h) **Сьомий розділ «ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ»** містить комплекс необхідних економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних рішень. Впровадження проєктованого технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Вал 6724576» із застосуванням токарного верстату з ЧПК дозволяє отримати економічний ефект який становить 303396,60 грн.

і) **Восьмий розділ «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ»** присвячений висвітленню питань, щодо професійного добору працівників та їх медичного забезпечення, а також розроблено структуру цивільного захисту промислового об'єкту верстатобудівного профілю виробництва.

j) **Дев'ятий розділ «ЕКОЛОГІЯ»** містить опис негативних факторів, а саме забруднень які виникають в цеху механічної обробки при роботі обладнання. Запропоновані заходи по усуненню шкідливого впливу верстата на навколишнє середовище.

4. ВИСНОВКИ

4.1. Проведено аналіз та визначені фактори, які визначають конструкцію корпусних деталей металорізальних верстатів, на основі опрацьованої літератури вибрані раціональні методики їх розрахунків.

4.2. Аналізуючи деталь-представник, матеріал, з якого вона виготовлена, і технічні умови на виготовлення, проведено розгляд можливих варіантів формоутворення, на основі яких здійснено побудову структурно-кінематичної та кінематичної схеми верстата.

4.3. Здійснено обґрунтування та вибір базової компоновки токарного верстату з ЧПК.

4.4. Розроблено оптимальний технологічний процес обробки деталі «Вал 6724576». При цьому в технологічному процесі використовується високопродуктивне технологічне обладнання. Для розробленого технологічного процесу аналітичними та табличними методами призначено режими різання, здійснено нормування технологічного процесу.

4.5. Для приводу головного руху вибираємо асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором 1PH7 131 NF фірми SIEMENS, технічні характеристики якого: $R_{ном}=11$ кВт; $M_{кр.ном.}=70$ Н*м; $n_{ном}=500$ хв-1; $n_{тах}=6700$ хв-1,

4.6. Проведено розрахунок шпиндельного вузла верстату, вибрано його опори, визначено жорсткість шпиндельного вузла, за допомогою засобів САПР проведено його оптимізацію.

4.7. В результаті розрахунку отримано напружено-деформований стан корпуса шпиндельної бабки. Отримані значення зміщень точок в області опорних отворів

під підшипники. Розрахунки проведені силових зміщень для двох випадків – без врахування та з врахуванням податливості стиків.

4.8. Аналіз отриманих даних дозволяє прийти до висновку, що вклад контактних зміщень в затягнутому стику в загальний баланс жорсткості є незначним і контактну податливість затягнутого стику можна не враховувати в наближених розрахунках.

4.9. Впровадження проектного технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Вал 6724576» із застосуванням токарного верстату з ЧПК дозволяє отримати економічний ефект який становить 303397 грн. за рік.

4.10 В роботі висвітлені питання охорони праці, а саме особливостей добору працівників та їх медичного забезпечення. Розроблено інструкцію що до безпечних прийомів роботи при обслуговуванні верстату з ЧПК.

4.11. В роботі вирішені питання безпеки життєдіяльності людини. Проведено дослідження структури цивільного захисту промислового об'єкту верстатобудівного профілю виробництва.

4.12. Визначено які основні типи забруднень виникають при роботі верстату 16K20T1. Запропоновані заходи по усуненню шкідливого впливу на навколишнє середовище.

5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Демків Т. М. Фактори які визначають точність багатоцільових верстатів // Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції / В 2 т. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 20-21 квітня 2016 р.), 2016.- Т. 1. - 245 с., - С. 154.

2. Демків Т.М. Скляр Р.А. Аналіз методів розрахунків корпусних деталей металорізальних верстатів // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів [том 1, 2 ,3], (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.(том 1)., С. 88-89.

3. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонентики) / Врагов Ю.Д. –М: Машиностроение, 1978. – 208 с.

4. 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.

5. Молчанов И.Н., Николенко Л.Д. Основы метода конечных элементов. – Киев: Наукова думка, 1989. – 269 с.

6. Кириллов Ю.В., Еремин Н.В. Исследование несущей системы станка методом конечных элементов // СТИН. – 2002. – №8. – С.19–21.

7. Скляр Р.А. Прогнозування розвитку технічних систем. / Кузнецов Ю.М., Скляр Р.А. - К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗИС», 2004. - 323 с.

6. АНОТАЦІЇ

Демків Т.М. «Дослідження динамічних характеристик процесу взаємодії корпусу шпindelьної бабки зі станиною токарного верстату на основі 3D моделей». Дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2018 р.

Метою роботи є розробка конструкції шпindelьної бабки верстату з ЧПК для обробки деталі типу вал з використанням 3-D моделей та дослідження її напружено-деформованого стану.

В дипломній роботі магістра розглянуто питання особливостей розрахунку деформацій корпусних деталей металорізальних верстатів. Вирішені питання, які пов'язані з аналізом технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал 6724576», дослідженням комплексу формотворних рухів та розробкою компоновальних схем верстата для їх повного або часткового забезпечення. Реалізовано проектний розрахунок та розробку окремих вузлів верстата. Здійснено розрахунок напружено-деформованого стану корпусу шпindelьної бабки. Визначені зміщення точок в області опорних отворів під підшипники. В результаті моделювання отримані карти результатів напружень, переміщень, головних напружень та деформацій в корпусі шпindelьного вузла токарного верстату. Здійснено техніко-економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень. Вирішені питання охорони праці та екології навколишнього середовища, безпеки життєдіяльності людини.

Ключові слова: токарний верстат з ЧПК, напружено-деформований стан.

Demkiv T.M. "Study of dynamic characteristics of spindle head body and lathe bed interaction based on 3D models". Thesis work for obtaining the educational qualification of Master degree of specialty 133 - industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2018.

The purpose of the work is to develop the design of a spindle shaft of a CNC machine for processing a shaft type detail using 3-D models and studying its stress-strain state.

In the dissertation work of the master the questions of peculiarities of calculation of deformations of body parts of metal-cutting machine tools are considered. The issues related to the analysis of the technological process of mechanical processing of the detail "Shaft 6724576", the study of the complex forming forces and the development of the layout diagrams of the machine for their full or partial provision are solved. Project design and development of individual machine parts is implemented. The calculation of the stress-strain state of the body of the spindle shaft is calculated. Deflections of points in the field of bearing openings under the bearings are determined. As a result of simulation, maps of the results of stresses, displacements, main stresses and deformations in the body of the spindle knot of the lathe are obtained. Done technical and economic feasibility of technical solutions. Thesis work includes issues related to the industrial safety, human ecology and the safety of human life.

Key words: CNC lathe, stress-strain state.