

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

**ФЕДОРІВ НАЗАР АНДРІЙОВИЧ**

УДК 621.914.5

**РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТВЕРДОТІЛИХ  
МОДЕЛЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ШПИНДЕЛЬНОЇ БАБКИ  
ШЛИЦЕФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА**

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 24 грудня 2019 р. о 11<sup>00</sup> 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.

Механічні передачі є одним з найбільш розповсюджених видів передачі крутного моменту, які являють собою невід'ємну частину більшості сучасних машин і у значній мірі визначають їхню якість і надійність. Підвищення технічних і експлуатаційних характеристик зубчатих коліс, шліцевих з'єднань, особливо на стадії їхнього проектування є актуальним завданням. Саме цим можна пояснити інтенсивні дослідження з удосконалення старих і по створенню нових систем зачеплення.

Таким чином, актуальність роботи визначається необхідністю розрахунку і проектування різноманітних видів геометричних профілів зубчатих передач та профільних з'єднань у зв'язку з підвищенням вимог до їхньої якості, довговічності та зменшенням рівня динамічних навантажень.

## б) Мета і завдання.

*Метою роботи* є створення комп'ютерних твердотілих моделей деталей шпindelної бабки та дослідження окремих з них на базі стандартних модулів САD-систем проектування.

Для досягнення цієї мети у роботі вирішено наступні задачі:

- провести аналіз теоретичної бази для проектування структурних елементів зубонарізних та шліцефрезерних верстатів;
- провести аналіз схем формоутворення для їх подальшої реалізації на проектуваному верстатному обладнанні а також компоувальної схеми проектуваного верстата;
- виконати технологічний аналіз типового об'єкта виробництва, виконати комплекс розрахунків для визначення навантажень у процесі механічної обробки;
- провести конструювання окремих елементів верстатного обладнання;
- провести автоматизовані розрахунки з використанням засобів САПР;
- створити твердотілі комп'ютерні моделі деталей супорта шліцефрезерного верстата мод. 5Б352ПФ2;
- провести дослідження твердотілої моделі вала шпindelя шпindelної бабки шліцефрезерного верстата;
- провести техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень;
- розробити заходи з охорони праці при використанні проектуваного верстатного обладнання у виробничому процесі;
- розробити заходи з безпеки життєдіяльності в умовах механообробного виробництва;
- розкрити питання охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки .

*Об'єкт проектування.* Твердотіла модель вала шпindelя шпindelного вузла шпindelної бабаки.

*Предмет дослідження.* Напружено-деформований стан вала шпindelя при граничних умовах його навантаження.

### **с) Наукова новизна отриманих результатів.**

вперше розроблено тверdotilі моделі елементів приводу головного руху шпindelьної бабки шліцефрезерного верстата та проведено дослідження компоувального вузла і шпindelьного вала.

### **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 міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) і опубліковані в збірнику:

Розробка і дослідження комп'ютерних тверdotilіх моделей елементів конструкції шпindelьної бабки шліцефрезерного верстата / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – 270.- Т. 1. С. 141-142.

**2. Структура роботи.** Робота складається з 9 розділів, висновків, списку літератури (30 найменувань), 1 додатку.

Загальний обсяг текстової частини – 120 сторінок, 7 таблиць, 45 рисунків.

## **3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**а) Перший "АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ"** розкриває зміст попередньо виконаних наукових досліджень за тематикою магістерської роботи, 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) У другому розділі "ІНФОРМАЦІЙНО-ПАТЕНТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ"** проведено аналіз типових конструкцій шпindelьних вузлів зубо- та шліцефрезерних верстатів. Подано опис конструкцій і принципу роботи приводу головного руху окремих зубо- та шліцефрезерних верстатів.

**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 виготовлення різних технологічних поверхонь.

**д) У третьому розділі "ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО КОМПОУВАЛЬНОЇ СХЕМИ"** здійснено аналіз компоувальних 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 компоувальних схем подібного верстатного обладнання. Виходячи із заданих рухів інструмента відносно деталі, що обробляється, розглянуто всю сукупність можливих базових компоунок, за методом Ю. Д. Врагова і розроблено, обґрунтовано та описано раціональну компоувальну схему об'єкта дослідження

е) **Четвертий розділ " ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ НА РОЗРОБКУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ"** включає аналітичний розрахунок припусків на механічну обробку заготовки під шліцевий вал. Також розраховано режими різання при обробці різних поверхонь циліндричної форми. Отримані результати задовольняють граничні умови щодо проектування верстатного обладнання фрезерної групи.

ф) У п'ятому розділі **"ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ"** виконано комплекс розрахунків щодо проектування шпindelного вала шпindelної бабки шліцефрезерного верстата. Визначено модулі зубчатих коліс, розраховано діаметри проміжних валів та посадочних місць. Проведено аналітичний розрахунок шпindelного вала на осьову та радіальну жорсткість. Розраховано раціональні геометричні параметри шпindelного вузла.

г) **Шостий розділ "НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ЧАСТИНА"** включає розгляд питань, які пов'язані з аналізом динамічної моделі приводу головного руху досліджуваного верстата. У цьому розділі представлено алгоритм створення комп'ютерних твердотілих моделей складових компонентів шпindelного вузла шліцефрезерного верстата. Досліджено напружено-деформований стан шпindelного вала у процесі обробки. Представлені результати автоматизованого проектування шпindelного вала.

h) **Сьомий розділ "ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ"** містить комплекс необхідних економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних рішень. Розрахунковий економічний ефект становить 343 065 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**

1. Проаналізовано конструкції приводів головного руху вертикально-фрезерних, зубофрезерних та шліцефрезерних верстатів.
2. Модернізовано конструкцію шпindelної бабки верстата із застосуванням САД-технологій з метою підвищення технологічних можливостей шпindelного вузла.
3. Проведено аналітичний розрахунок шпindelного вузла.

4. Проведено раціональний підбір матеріалу шпindelного вала. За даними розрахунків, найбільш раціональним матеріалів є сталь 40ХН2МА.
5. Здійснено дослідження напружено-деформованого стану конструкції шпindelного вала в середовищі Solid Works. Проведений розрахунок показав, що найбільш небезпечним перерізом є переріз по шліцах кріплення втулки із зубчатими колесами. Деформації не перевищують допустимі норми. Запропонована конструкція шпindelного вала придатний до роботи.
6. Виконані аналітичні розрахунки підтвердженні результатами автоматизованого аналізу методом скінченних елементів у Cosmos Works.
7. Здійснено техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень. Виконані економічні розрахунки показали, що комплекс робіт по розробці технічної документації та організаційно-підготовчих заходів щодо впровадження елементів модернізації верстатного обладнання складає 343 065 грн.

## 5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: підручник. / В.Б. Струтинський – Житомир, ЖИТІ, 2001– 612 с.
2. Скляр 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. T. Vitenko, V. Shanaida, P. Drożdziel, R. Madleňák (2017) Features of creating a solid models and assembly operations at cad-systems, *EDULEARN17 Proceedings*, pp. 7464-7469.
5. Луців І.В. Теорія технічних систем /Ю.М.Кузнєцов, Ю.К.Новосьолов, І.В.Луців – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 246 с.
6. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Скляр Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.117-125.
7. Герасимчук, Г. А.; Скляр Р. А.; Шанайда, В. В. Розробка математичної моделі та дослідження складних профільних з'єднань у спеціалізованих пакетах комп'ютерного моделювання. *Наукові нотатки*, 2013, 42: 75-80.
8. Шанайда В.В., Паньків В.Р.. Особливості створення твердотільних моделей та виконання складальних операцій у програмному середовищі САПР КОМПАС (АСКОН)/ Поступ в науку. Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту . - Бучач. - 2011. - №7. – 447 с. С. 366 – 370

9. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках / Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
- 10.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

Федорів Н.А.; "Розробка і дослідження комп'ютерних твердотілих моделей елементів конструкції шпindelної бабки шліцефрезерного верстата". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2019 р.

При виконанні магістерської дипломної роботи проведено аналіз конструкції приводу головного руху шліцефрезерного верстата. Розраховано екстремальні значення режимів різання з метою визначення граничних навантажень на елементи приводу головного руху у процесі експлуатації верстата. Проведено конструктивний розрахунок елементів конструкції приводу головного руху. Сформовані комп'ютерні твердотілі моделі елементів конструкції шпindelної бабки шліцефрезерного верстата. Здійснено процес 3D моделювання шпindelного вузла шпindelної бабки верстата. Проведено дослідження напружено-деформованого стану вала шпинделя. Здійснено економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень. Виконані економічні розрахунки по розробці технічної документації та організаційно-підготовчих заходів щодо впровадження елементів модернізації верстатного обладнання. Проведено аналіз дій та правил, які необхідно виконувати при виникненні надзвичайних ситуацій. Розроблено питання охорони навколишнього середовища.

Ключові слова: динамічні характеристики, привід головного руху, шліцефрезерний верстат.

Fedoriv N.A.; "Development and study of computer solid body models of assembly components of spline shaft milling machine spindle head". 133 - industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2019.

In the course of the master's thesis the analysis of the design of the drive of the main movement of the spline milling machine was carried out. Extreme values of cutting modes have been calculated in order to determine the limit loads on the elements of the drive of the main movement during the operation of the machine. The structural calculation of the elements of the design of the drive of the main movement is carried out. Computer-aided solid-state models of design elements of a spindle grandmother of a spline milling machine are formed. The process of 3D modeling of the spindle

assembly of the machine's spindle head was performed. The stress-strain state of the spindle shaft was investigated. The economic substantiation of the made engineering decisions is made. The economic calculations for the development of technical documentation and organizational and preparatory measures for the implementation of elements of modernization of machine equipment were made. An analysis of the actions and rules to be followed in the event of an emergency. Environmental issues have been developed.

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