

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

**Герасим'юк Валерій Михайлович**

УДК 621.9

**ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ 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  
**Крупа Володимир Васильович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування  
**Дичковський Михайло Григорович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 24 грудня 2019 р. о 11 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. 101

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

На багатьох машинобудівних підприємствах України використовується частина парку верстатів, які фізично та морально застарілі. В більшості випадків вони не відповідають сучасним вимогам, які стосуються швидкохідності обробки, надійності, точності тощо. Існує потреба їхньої модернізації. Одним із найпоширенішим напрямом модернізації фрезерних верстатів є збільшення максимальної кількості обертів шпинделя, відповідно до можливостей сучасних інструментальних матеріалів. В основному існуючі приводи замінюють двигуном постійного струму, що напряму, або через двоступеневий редуктор з'єднаний із шпинделем. Це забезпечує високу частоту та відповідний діапазон регулювання. Проте такий метод модернізації не завжди виправданий у випадках, коли необхідно забезпечувати низьку частоту обертання шпинделя, що супроводжується високим крутним моментом. Внаслідок зміни швидкісних та силових параметрів процесу фрезерування виникає необхідність внесення змін у конструкції механізмів і вузлів верстату, зокрема у шпиндельний вузол, коробку швидкостей тощо. Можливий варіант поряд із використанням ступеневого приводу встановити додатковий – для забезпечення високих частот обертання шпинделя. Такий метод є менш затратним, оскільки повністю або частково використовується існуюча конструкція, а також забезпечує значно ширший діапазон регулювання. Підвищення частоти обертання шпинделя вимагає зміни компоновальної схеми шпиндельного вузла, заміни опор, повного перерахунку його характеристик, зокрема динамічних. При модернізації такого приводу змінюються навантаження і діапазони роботи і інших вузлів та елементів приводу, тому необхідно змінювати їх конструкції, проводити їх перерахунок.

Тому обґрунтування параметрів елементів приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата є безумовно актуальною задачею

**Мета роботи:** розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності обробки на вертикально-фрезерному верстаті за рахунок модернізації приводу головного руху та обґрунтування його параметрів

**Основні завдання:**

1. Здійснити аналіз кінематичних та силових параметрів приводу головного руху та можливостей сучасних інструментальних матеріалів.
2. Провести аналіз схем формоутворення та обґрунтування компоувальної схеми верстату.
3. Розробити оптимальну загальну структуру приводу головного руху, а також окремих його частин
4. Провести обґрунтування компоновки шпиндельного вузла з урахуванням змінених умов обробки
5. Провести кінематичний та силовий розрахунок ступеневої та безступеневої частин приводу головного руху.
6. Розробити конструкцію приводу головного руху на основі обґрунтованої структурної схеми
7. Розробити конструкцію шпиндельного вузла вертикально-фрезерного верстату
8. Визначити економічну ефективність розроблених технічних рішень, а також провести їх обґрунтування на основі вимог до охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони навколишнього середовища

**Об'єкт дослідження** – привод головного руху вертикально-фрезерного верстату.

**Предмет дослідження** – швидкісні і силові характеристики та структура приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата.

**Методи дослідження.** Основою роботи є комплексний підхід до розробки та конструкції приводу головного руху з урахуванням необхідних частот обертання шпинделя, потужності різання, на основі можливостей сучасних інструментальних матеріалів, а також обґрунтовано його структуру на основі сучасних підходів до проектування металорізальних верстатів.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у науковому обґрунтуванні структури приводу головного руху на основі комплексного підходу з використанням методу морфологічного аналізу.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропоновано конструкцію приводу головного руху з ступеневою та безступеневою частинами, зокрема коробки швидкостей та шпindelного вузла.

**Апробація.** Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, 27-28 листопада 2019 р.) і опублікована у збірнику тез доповідей.

## **2. СТРУКТУРА РОБОТИ.**

Робота складається зі вступу, 10 розділів, висновків, списку літератури ( 73 найменування), 2 додатків. Загальний обсяг текстової частини - 136 сторінок, 15 таблиць, 27 рисунків.

## **3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** подано актуальність дипломної роботи магістра, сформульована мета досліджень, основні завдання, об'єкт та предмет дослідження, описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **«Аналітичному розділі»** здійснено аналіз технічних характеристик верстату-прототипу, зокрема його будови та приводів головного руху і подачі, проаналізовано конструкції та характеристики вертикально-оброблюючих центрів, структури приводів головного руху горизонтально-фрезерних верстатів, типів підшипників для високошвидкісних шпindelних вузлів, а також двигуни для приводу головного руху і їх характеристики. На основі аналізу сформульовано мету і задачі дослідження.

У розділі **«Аналіз формування поверхонь»** здійснено аналіз рухів формування для обробки різних поверхонь на вертикально-фрезерному верстаті.

У розділі **«Обґрунтування компоувальної схеми»** обґрунтовано компоувальну схему верстата на основі математичного відбору.

У **«Технологічному розділі»** на основі аналізу характеристик інструментальних матеріалів встановлено режими різання для різних типів

інструментальних та оброблюваних матеріалів. Визначено необхідні частоти обертання шпинделя, а також сили та потужність різання.

В **«Науково-дослідному розділі»** обґрунтовано оптимальну структуру приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата, а також структуру безступеневої частини приводу на основі морфологічної матриці. На основі аналіз компоувальних схем шпиндельних вузлів фрезерних верстатів проведено розрахунок та вибір компоувальної схеми шпиндельного вузла на основі типових компоунок та проведено дослідження впливу числа підшипників в передній опорі на жорсткість шпиндельного вузла

В **«Конструкторському розділі»** проведено кінематичний та силовий розрахунок ступеневої та безступеневої частини приводу, визначено крутні моменти на валах та діаметри самих валів, проведено розрахунок найбільш навантаженої зубчастої передачі, а також здійснено уточнений розрахунок вала.

В **«Спеціальній частині»** проведено розрахунок шпиндельного вузла з використанням програмного продукту SPINCH.

У розділі **«Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** здійснено проектування робочого місця та розрахунок освітлення висвітлені питання про соціальні та техногенні небезпеки.

У розділі **«Екологія»** приділена увага утворенню відходів, що виникають при обробці на вертикально-фрезерних верстатах та способам захисту навколишнього середовища від цих відходів.

У розділі **«Обґрунтування економічної ефективності»** проведено розрахунок витрат на модернізацію верстата.

#### **4. ВИСНОВКИ**

1. На основі аналізу кінематичних та силових параметрів приводу головного руху можливостей сучасних та можливостей сучасних інструментальних матеріалів встановлено необхідні швидкісні та силові характеристики приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата.

2. Проведено аналіз схем формоутворення та здійснено обґрунтування компоувальної схеми

3. Розроблено оптимальну структуру приводу головного руху, що складається із ступеневої та безступеневої частин
4. На основі аналізу та обґрунтування компоувальної схеми шпиндельного вузла на основі необхідних умов обробки запропоновано компоувальну схему шпиндельного вузла з трьома радіально-упорними підшипниками в передній опорі та двома - в задній.
5. Проведено кінематичний та силовий розрахунок ступеневої та безступеневої частин приводу головного руху
6. Розроблено конструкцію модернізованої шпиндельної бабки та окремих елементів приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата
7. Розроблено конструкцію шпиндельного вузла верстата
8. Визначено вартість модернізації верстата та обґрунтовано технічні рішення відповідно до вимог охорони праці, безпеки в надзвичайних ситуаціях та екології

### **Перелік наукових праць**

1. Герасим'юк В.М. Удосконалення конструкції приводу головного руху вертикально-фрезерного верстату / Герасим'юк В.М. // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.). – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – С. 67
2. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов / А.И. Кочергин. Мн., Выш. шк., 1991. – 382 с.
3. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. Т. 2 / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т. 2. — М.: Машиностроение, 2011. — 586 с.; ил.
4. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.М. Аврамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т. 1. — М.: Машиностроение, 2011. — 608 с.; ил.
5. Кривий П. Д. Обґрунтування параметрів шпиндельного вузла горизонтально-фрезерного верстату з інтегрованим приводом головного руху /

П. Д. Кривий, В. В. Крупа, Г. Ю. Михалчич // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том I. — С. 115.

6. Скляр Р. 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. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

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

8. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів: дис. канд. техн. наук, спец. 05.03.01 / Крупа Володимир Васильович – Тернопіль, 2015. – 185 с.

9. Кривий П.Д. Імовірно-статистичний метод оцінювання впливу глибини різання та подачі на тангенціальну силу різання при точінні / Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Крупа В.В., Дзюра В.О. // Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта : тези допов. Київ,2019 - С 231-234.

10. Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В.Р., Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Каровська О.М. / Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 31 жовтня — 02 листопада 2018 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ: ДДМА, 2018. — С. 78-79

### **Анотація**

Герасим'юк Д.М. Обґрунтування елементів конструкції приводу головного руху вертикально-фрезерного верстату. Спец. 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2019р.



У дипломній роботі проведено аналіз конструктивних особливостей базової моделі верстату, а також верстатів-аналогів. Здійснено аналіз загальних структур приводів головного руху вертикально-фрезерних верстатів. Проведено обґрунтування компоувальної схеми та технологічних параметрів для модернізації верстата. Здійснено розробку структури модернізованого приводу на основі морфологічної матриці. На основі проведено аналізу вибрано оптимальну компоувальну схему шпиндельного вузла та проведено дослідження впливу кількості підшипників в передній опорі на жорсткість шпиндельного вузла. Проведено кінематичний і силовий розрахунок ступеневої та безступеневої частин приводу, на основі яких розроблено конструкції коробки швидкостей, шпиндельного вузла, а також системи переключення між ступеневою і безступеневою частинами приводу головного руху вертикально-фрезерного верстату. Проведено розрахунок вартості модернізації приводу головного руху верстата. Розроблені технічні рішення обґрунтовано на основі вимог охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони навколишнього середовища.

### **Abstract**

Herasymiuk V.M. Substantiation of main motion drive assembly components of a vertical milling machine. 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2019.

Analysis of the structural features of the machine-tool basic model, as well as similar machine-tool, has been carried out in the diploma paper. Analysis of the general structures of the vertical-milling machine main feed drive was performed. The component scheme and technological parameters for the updating of the machine were interpreted. The structure of the improved drive basing on the morphological matrix was developed. The optimal compiling scheme of the spindle unit was chosen basing on it and investigation of the effect of the bearings number in the initial support on the spindle unit rigidity was performed. Kinematic and strength calculations of the speed

drive and variable-speed drive part were done, basing on which the design of the gear-box, spindle unit and the system of gearing between speed drive and variable-speed drive of the main feed drive of the vertical-milling machine have been carried out. The calculation of the expenditures for the updating of the main feed of the machine-tool was done. The developed engineering solutions were interpreted to meet the requirements of the health and safety program and the program of the environment protection.

**Key words:** vertical-milling machine, main feed drive, gear-box, spindle unit, drive.