

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

ОЛЕКСІЄВИЧ АНДРІЙ МИРОСЛАВОВИЧ

УДК 621.9.04

**«Дослідження верстату пірамідальної компоновки на
основі механізмів паралельної структури»**

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 27 грудня 2018 р. о 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. В1

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

а) Актуальність теми роботи.

Актуальність роботи. Вирішення висунутих суспільством задач можливо лише за допомогою створення сучасних машин, впровадження прогресивних технологій їх виробництва, використання нових принципів господарської діяльності, а також застосування нових нетрадиційних підходів до проектування машин, технологій та організації виробництва.

Заданий рівень гнучкості виробничих процесів багатономенклатурного серійного виробництва забезпечується широким застосуванням багатоцільового програмно-керованого технологічного обладнання, яке змінює структуру та зміст технологічних операцій (свердлильно-фрезерні верстати, токарні верстати з ЧПУ, обладнані свердлильно-фрезерною голівкою. Сьогодні особлива увага приділяється вдосконаленню структури верстатів, верстатних комплексів і в першу чергу верстатів з ЧПК, багатоопераційних верстатів типу «оброблюючий центр», гнучких виробничих модулів, важких верстатів, верстатів високої і особливо високої точності, а в світовому машинобудуванні велика увага приділяється також удосконаленню структури автоматизованих і робототехнічних комплексів і ліній, гнучких виробничих систем.

Основним напрямком автоматизації процесів гнучкого багатономенклатурного серійного виробництва, який задовольняє вимогам сучасної технології виробництва є створення агрегатно-модульного програмно-керованого швидкопереналагоджуваного технологічного обладнання, побудованого на основі механізмів паралельної структури (МПС).

Можливості технологічного обладнання з МПС дуже широкі, вони можуть виконувати практично усі види робіт, пов'язаних з обробкою, складанням, випробуванням та контролем виробів.

Саме тому тема «Дослідження верстату пірамідальної компоновки на основі механізмів паралельної структури» є **актуальною**.

б) Мета і завдання.

Метою роботи є оцінка стану розвитку верстатів з механізмами паралельної структури та розробка їх нових конструкцій з покращеними технологічними можливостями.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі основні задачі:

- провести патентно-інформаційні дослідження по свердлильно-фрезерним верстатам з МПС.
- здійснити структурний аналіз і провести побудову МПС для верстатів свердлильно-фрезерної групи;
- спроектувати та розробити нові компоновки свердлильно-фрезерних верстатів з МПС;
- провести розробку основних виконавчих вузлів запропонованого верстату;
- провести дослідження кінематики механізмів паралельної структури;
- розробити конструкції каркасних компоновок верстатів з МПС;
- провести організаційно-економічні розрахунки стосовно запропонованої конструкції верстату пірамідальної компоновки;

- вирішити питання охорони праці стосовно запропонованого верстату;
- вирішити питання безпеки життєдіяльності людини;
- вирішити питання екологічного характеру.

с) Об'єкт, методи та джерела дослідження.

Об'єкт дослідження – верстат пірамідальної компоновки, як складна технічна система.

Предмет дослідження – конструктивні елементи та компоновочні схеми верстатів з механізмами паралельної структури.

Методи дослідження. Системний підхід як метод дослідження дозволяє в роботі представити об'єкт як єдине ціле. Методи математичного аналізу дозволили здійснити дослідження кінематики механізмів паралельної структури.

д) Наукова новизна отриманих результатів.

Здійснено кінематичний аналіз механізмів паралельної структури (розв'язано пряму і зворотну задачу). Розроблені нові компоновання верстатів каркасних компоновок з МПС.

е) Практичне значення отриманих результатів.

результати проведених досліджень та інженерного розрахунку можна використати при проектуванні нових конструкцій верстатів з механізмами паралельної структури.

Апробація.

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018) і опубліковані в збірнику:

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) в 3-х томах / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2018 – Т. 1. – 231 с. С. 135.

2. **Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 9 розділів, висновків, переліку посилань. Загальний обсяг текстової частини – 222 сторінок, 23 таблиць, 85 рисунків.

3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

b) **Перший розділ «АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ»** розкриває зміст попередньо виконаних наукових досліджень за тематикою магістерської роботи, та теоретичні засади, які покладені в основу наукового дослідження. Концепція проектування технологічного обладнання з МПС передбачає конструктивне виконання кінематичних ланцюгів у вигляді просторових стрижневих ферм, які мають незначну масу рухомих елементів, що обумовлює отримання надвисоких швидкостей та прискорень виконавчого органу. Розвиток теорій просторових механізмів обумовив створення механізмів паралельної структури як принципово нового класу просторових механізмів, внаслідок чого виникають нові задачі теоретичних досліджень таких механізмів. В роботі здійснено аналіз

теоретичних досліджень провідних науковців в даному напрямку. Проведено аналіз робіт з кінематики та динаміки механізмів паралельної структури, на основі яких розвинута теорія проектування подібних механізмів. Також в цьому розділі проведено аналіз компонок верстатів з механізмами паралельної структури які серійно випускаються провідними верстатобудівними фірмами та основних типів ланок цих верстатів.

с) **У другому розділі «ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ»** здійснено аналіз конструктивно-технологічних властивостей деталі «Корпус», яку обробляють на досліджуваному верстаті. Також розглянуті основні типи модулів для створення верстатів з МПС, структурні та кінематичні схеми їх реалізації. Приведені структурні та кінематичні схеми найпоширеніших типів технологічного обладнання з паралельною кінематикою.

д) **У третьому розділі «ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ НА РОЗРОБКУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ. 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 сформулювати вихідні дані для розробки проектування конструкції верстатного обладнання.

е) **Четвертий розділ «ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ»** містить теоретичні передумови розробки конструкції верстата з МПС. Розглянуті особливості розрахунку робочого простору компоновки верстата, та приведені теоретичні передумови вибору двигунів приводу верстату. Здійснено розробку кінематичної схеми верстату, та розрахунок його основних виконавчих вузлів.

ф) **П'ятий розділ «СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА»** включає розгляд питань, які пов'язані з оптимізацією параметрів кулькової гвинтової передачі.

г) **Шостий розділ «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ»** - проведено дослідження кінематики механізмів паралельної структури (розв'язані пряма та зворотна задача). Розроблені практичні рекомендації по удосконаленню свердлильно-фрезерних верстатів з МПС. Запропоновані конструкції каркасних компонок верстатів з МПС. Запропонована концепція може бути використана при створенні технологічного устаткування з паралельною кінематикою різного призначення: металообробних і деревообробних верстатів, роботів і маніпуляторів, текстильних, друкарських, зварювальних, лазерних, вимірювальних і інших машин.

h) **Сьомий розділ «ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ»** містить комплекс необхідних економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних рішень. Впровадження проектного технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Корпус» із застосуванням верстату пірамідальної компоновки з механізмами паралельної структури дозволяє отримати економічний ефект який становить 3560324,61 грн.

i) **Восьмий розділ «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ»** присвячений організації робочого місця та розрахунку освітлення на ньому. Крім того вирішені питання оцінки стійкості роботи промислового підприємства до впливу вражаючих факторів.

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

1. Пошук, обґрунтування, оцінку і вибір компоновки верстата з механізмами паралельної структури слід проводити з урахуванням конкретних умов виробництва, що дозволить максимально використовувати технологічні можливості верстата, який проектується і досягнути високих техніко-економічних показників. Компоновка верстата має істотний вплив на його техніко-економічні показники, в зв'язку з чим сама компоновка верстата є об'єктом вивчення, та її основні складові компоненти.

2. Патентно-інформаційний аналіз верстатів з МПС показав, що сучасні ці верстати здійснюють комплексну обробку, вони побудовані на агрегатно-модульному принципі. Всі верстати умовно можна поділити на декілька груп – верстати з штангами постійної довжини, змінної довжини та верстати з гібридною кінематикою. Для побудови конструкцій таких верстатів можна використовувати уніфіковані вузли які випускаються підприємствами машинобудівного профілю.

3. Проведено порівняльний аналіз варіантів технологічного процесу, здійснено вибір раціонального маршруту обробки деталі. Аналітичними та табличними методами призначено режими різання.

4. Розглянуті теоретичні передумови для розробки верстату з механізмами паралельної структури. Сформовано механізм запису структурних елементів компоновки верстату.

5. Всі механізми верстатів з паралельною структурою складаються з обмеженої кількості модулів. Визначені модулі використовуються майже в усіх механізмах паралельної структури.

6. Форма та розміри робочого простору технологічного обладнання з паралельною кінематикою та співвідношення його параметрів залежить від прийнятої кінематичної структури. При співвідношенні $L > D$ маємо форму робочого простору – високий циліндр, а при $L < D$ – низький циліндр.

7. На основі трикутної форми розташування напрямних запропоновано базову пірамідальну компоновку багатокординатного свердлильно-фрезерного верстату підвищеної жорсткості. Верстат має скорочену довжину штанг, три циліндричні напрямні і паралельно ним три кулькові гвинтові передачі з опорами на нижній основі.

8. В якості джерела руху головного приводу прийнято мотор-шпиндель *HF 120.2 A 32* номінальною потужністю $N=13$ кВт (з максимальною частотою обертання 30000 об/хв).

9. Проведено кінематичний аналіз механізмів паралельної структури, який передбачає розв'язання прямої та зворотної задачі.

10. Пряма задача полягає у визначенні абсолютних координат виконавчого органу по заданим узагальненим координатам (1-координатам). Зворотна задача кінематики полягає у визначенні значень узагальнених координат (1-координат) за заданим положенням виконавчого органу.

11. Розроблені рекомендації по вдосконаленню верстатів з МПС та запропоновано ряд компоновок верстатів.

12. Впровадження проектного технологічного процесу механічної обробки деталі типу «корпус» із застосуванням верстату пірамідальної компоновки дозволяє отримати за весь термін служби економічний ефект 3560324,61 грн.

13. В роботі висвітлені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності людини.

14. Для очистки стічних вод застосовуються механічні методи (процідування, відстоювання, фільтрування). Тверді відходи (стружка) утилізуються і здається на переробку.

5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / Під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.

2. Лебедев П.А. Кинематика пространственных механизмов. – М.-Л.: Машиностроение, 1966. – 280 с.

3. Диментберг Ф.М. Теория пространственных шарнирных механизмов. – М.: Наука, 1982. – 336 с.

4. Олексієвич А.М. Основні переваги та особливості використання технологічного обладнання з механізмами паралельної структури // Збірник тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) в 3-х томах / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2018 – Т. 1. – 231 с. — С. 135.

5. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: / Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Кириченко А.М. та ін. / Під ред. Ю.М. Кузнєцова. Навч. посібник для ВНЗ у 3-х част. – Кіровоград, 2003. – Частина III. Агрегатно-модульне технологічне обладнання нового покоління, його оснащення та інструментальне забезпечення. – 507 с., іл

6. АНОТАЦІЇ

Олексієвич А.М. «Дослідження верстату пірамідальної компоновки на основі механізмів паралельної структури». Дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за напрямом 133 – Галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВмз-61.: Тернопіль, 2018.

Метою роботи є оцінка стану розвитку верстатів з механізмами паралельної структури та розробка їх нових конструкцій з покращеними технологічними можливостями.

В дипломній роботі магістра здійснено аналіз розвитку компоновань верстатів з механізмами паралельної структури. Розглянуто основні способи формоутворення обробки поверхонь деталі типу «Корпус» та розроблено технологічний процес її виготовлення. Здійснено розробку компоновання верстату пірамідальної компоновки, розроблено конструкції її основних вузлів. Здійснено дослідження кінематики механізмів паралельної структури. Розроблені практичні рекомендації по удосконаленню свердлильно-фрезерних верстатів з МПС. Запропоновані конструкції каркасних компоновок верстатів з МПС. Вирішені питання техніко-економічного обґрунтування прийнятих технічних рішень. Також розкриті питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, екології.

Ключові слова: верстат пірамідальної компоновки, механізми паралельної структури, розрахунок.

Oleksiievych A.M. « Investigation of a machine tool of pyramidal assembly based on mechanisms of parallel structure.». Thesis work for obtaining the educational qualification of Master degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2018.

In the thesis of the master the analysis of development of configurations of machines with mechanisms of parallel structure is carried out. The main ways of shaping of surfaces of a detail like "Case" are considered and technological process of its production is developed. Development of configuration of the machine of pyramidal configuration and a design of its main knots is carried out. The research of kinematics of mechanisms of parallel structure is conducted. The developed practical recommendations about improvement of boring-and-milling machines with mechanisms of parallel structure. The offered designs of frame configurations of machines with mechanisms of parallel structure. 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.

Keywords: machine of pyramidal configuration, mechanisms of parallel structure, calculation.