

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

**РЕКИС МИХАЙЛО ІВАНОВИЧ**

УДК 621.91; 621.757

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТОЧНОСТІ  
ДВОШПИНДЕЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО  
ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПК**

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  
**Волошин Віталій Несторович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування  
**Дичковський Михайло Григорович,**  
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. 101

## 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### а) Актуальність теми роботи.

При виробництві таких деталей, як шестерні, зірочки, маховики, фланці, кільця підшипників та ін., широко використовуються вертикальні токарні верстати з ЧПК. Задача підвищення продуктивності таких верстатів в умовах багатомоделного виробництва є пріоритетною для більшості фірм-виробників. Підвищення продуктивності вертикальної токарної обробки досягається за рахунок паралельної обробки поверхонь на двошпindelних вертикальних токарних верстатах з ЧПК. Точність обробки на таких верстатах значною мірою буде визначатися похибками, які виникають в процесі цієї обробки. Вони будуть залежати від розташування інструментів у просторі робочої зони та впливу всіх складових сил різання від всіх інструментів, які беруть участь в обробці, пружних переміщень формоутворюючої системи верстата по всіх координатах, його геометричної точності та ін. Тому розробка моделі вихідної точності сучасних двошпindelних вертикальних токарних верстатів з ЧПК є актуальною задачею.

### б) Мета і завдання.

*Метою роботи* є розробка моделі формоутворюючої системи та моделі векторного балансу точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК для оцінки впливу на точність оброблених поверхонь похибок положення його вузлів.

Для досягнення цієї мети у роботі поставлено наступні задачі:

- проаналізувати конструкції вертикальних токарних верстатів з ЧПК та їх приводів головного руху;
- провести аналіз схем формоутворення та вибрати раціональну компоновку верстата;
- вибрати та теоретично обґрунтувати вихідні дані на розробку приводу головного руху двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК;
- розробити конструкцію приводу головного руху у вигляді прямого приводу з циліндричним редуктором та провести статичний і динамічний розрахунок шпindelного вузла;
- провести аналіз показників геометричної точності верстата;
- провести аналіз досвіду вітчизняних та закордонних наукових шкіл в області точності металорізальних верстатів;
- охарактеризувати структуру моделі вихідної точності верстата та основні етапи варіаційного методу розрахунку його точності;
- сформулювати координатний код, розробити формоутворюючу структуру та модель функції формоутворення двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК;

– розробити модель векторного балансу точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК.

**с) Об'єкт, методи та джерела дослідження.**

*Об'єкт дослідження.* Двошпindelний вертикальний токарний верстат з ЧПК.

*Предмет дослідження.* Формоутворююча структура, функція формоутворення та векторний баланс точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК.

*Методи дослідження.* В основу роботи покладено фундаментальні положення точності металорізальних верстатів, теорія варіаційного розрахунку точності машин та теорія матриць.

**д) Наукова новизна отриманих результатів.**

Запропоновано формоутворюючу структуру, математичні моделі функції формоутворення та модель векторного балансу точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК для оцінки впливу на точність оброблених поверхонь похибок положення його вузлів.

**е) Практичне значення отриманих результатів.**

Результати проведених досліджень та інженерного розрахунку можна використати при оцінці впливу на точність оброблених поверхонь похибок положення вузлів існуючих двошпindelних вертикальних токарних верстатів з ЧПК та при проектуванні їх нових конструкцій.

**ф) 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 (м. Тернопіль, 27-28 листопада 2019 р.) і опубліковані в збірнику:

1. Збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Том I. – Тернопіль, 2019.– С.56-57.

2. **СТРУКТУРА РОБОТИ.** Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, списку літератури (52 найменувань), 2 додатків.

Загальний обсяг тестової частини – 152 сторінки, 45 рисунків, 20 таблиць.

**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.

**б) Перший «АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ»** присвячений аналізу конструкції базової моделі двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК мод. ПАБ-350 та конструкцій і технічних характеристики верстатів аналогічного призначення провідних світових виробників.

Проведено аналіз приводів головного руху токарних верстатів з ЧПК. В результаті аналізу встановлено, що всі конструкції приводів головного руху токарних верстатів з ЧПК можна класифікувати: 1) по числу діапазонів регулювання механічних передач (прямий привід; привід з двох- трьох- або

чотирьохдіапазонними коробками механічних передач); 2) по компоновці (привід, який містить мотор-шпindel; розділений привід; привід з термічно розділеними корпусами; привід з коробкою швидкостей, вмонтованою в шпindelну бабку); 3) по типу привідного елемента, що передає обертання шпindelю (без механічного привідного елемента (мотор-шпindel); з пасовою передачею; з зубчастою передачею; комбінований привід).

Приведено перелік параметрів, що характеризують геометричну та кінематичну точність верстатів певного типу, методи їх перевірки та допустимі відхилення параметрів регламентовані відповідними стандартами. Приведені показники точності деталей, виготовлених на усіх типах верстатів: точність розмірів; точність форми оброблених поверхонь; точність взаємного розташування.

Проведено аналіз різних наукових робіт, присвячених задачі розрахунку точності технологічної оброблювальної системи, як одній із актуальних при вирішенні проблеми керування точністю, оцінки точності верстата на стадії проектування, встановленні окремих параметрів, що визнають точність обробки та ін., в яких використані різні наукові підходи. В результаті аналізу встановлено, що значна частина наукових результатів належить науковим школам професорів: В.Е. Пуша, А.С. Пронікова, В.Т. Портмана, Б.М. Базрова, М.Г. Косова. Закладені ними наукові основи точності верстатів є фундаментом сучасних напрямків досліджень. Особливу увагу приділено роботам В.Т. Портмана, в яких запропоновано варіаційний метод розрахунку точності машин, який дозволяє побудувати баланс точності верстата з врахуванням багаточисельних джерел похибок. Використання в ньому фундаментальної властивості похибок – їх дуже малої величини у порівнянні із номінальним розміром – дозволяє отримати аналітичні вирази, які пов'язують в явному вигляді вхідні і вихідні характеристики точності верстата.

Проаналізовано роботи Луціва І.В. та Волошина В.Н. у яких запропоновано математичну модель точності двосупортних токарних верстатів з ЧПК при дворізцевій обробці, яка базується на варіаційному методі розрахунку точності верстатів. Ними показано, що для здійснення одночасної токарної обробки поверхонь заготовки двома різальними інструментами формоутворююча система двосупортних токарних верстатів з ЧПК має паралельну структуру.

с) У другому розділі **«ФОРМОУТВОРЕННЯ ТА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ ВЕРСТАТА»** вибрано комплекс рухів по забезпеченню виробничого циклу на верстаті виходячи із схем формоутворення, сформовано технологічний модуль і модульний комплект, проведено аналіз базових компоновок токарних верстатів. Виходячи з технічного завдання сформулюємо умови відбору компоновки верстату. Здійснено математичний відбір компоновки верстату.

д) У третьому розділі **«РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОСНОВНИХ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРСТАТА»** здійснено розрахунок і вибрано основні технічні характеристики верстата (розмірних, технологічних, кінематичних та силових).

е) У четвертому розділі «ПРОЕКТУВАННЯ ШПИНДЕЛЬНОЇ БАБКИ ВЕРСТАТА» вибрано тип та структуру приводу головного руху. Для вертикального токарного верстата вибрано прямий привід, механічна частина якого складається із привідного електродвигуна, двоступеневого редуктора та шпиндельного вузла. Здійснено вибір електродвигуна приводу головного руху. Проведено розрахунок діапазону регулювання при постійній потужності та побудовано діаграма потужності на валу електродвигуна для різних режимів його роботи. При проектуванні приводу проведено розрахунок проектний та перевірочний розрахунок валів, зубчастих передач приводу шпинделя.

Проведено статичний і динамічний розрахунок шпиндельного вузла. Розрахунок радіальної жорсткості шпиндельного вузла проводився як для статично-невизначеної системи. За результатами розрахунків жорсткість шпиндельного вузла складає 526 Н/мкм. При динамічному розрахунку шпиндельний вузол було прийнято як багатомасову коливну систему із зосередженими масами. Визначено першу власну частоту коливань шпиндельного вузла, яка складає 118 Гц. Також проведені автоматизовані розрахунки з використанням спеціального пакету прикладних програм довговічності підшипників шпиндельного вузла.

ф) У п'ятому «НАУКОВО-ДОСЛІДНОМУ РОЗДІЛІ» приведена структура моделі вихідної точності металорізальних верстатів приведена структура моделі вихідної точності верстата, яка включає взаємопов'язані блоки: 1 – координатний код формоутворюючої системи; 2 – джерела похибок; 3 – функція формоутворення; 4 – похибка положення ланок формоутворюючої системи; похибки схеми формоутворення; 5 – задана (номінальна) оброблювана поверхня; 6 – баланс точності верстата; 7 – реальна оброблювана поверхня; 8 – базова поверхня; 9 – похибки форми і розташування; 10 – похибка форми. Приведено основні положення варіаційного методу розрахунку точності металорізальних верстатів.

Розглянуто формоутворюючу структуру двошпиндельного вертикального токарного верстата з ЧПК (рис.1), яка має дві незалежні вітки. Координатний код формоутворюючої системи для обох її віток, який складається із кодів матриць переміщень і поворотів буде мати вигляд:  $K_1 = K_2 = k_1 k_2 k_3 = 631$ . Виходячи із координатного коду формоутворюючої системи (рис.1) для обох її віток, функція формоутворення для формоутворюючої системи паралельної дії опишеться залежностями:

$$\begin{cases} \overline{r_{01}} = A_{01}^6(\varphi_1) \cdot A_{12}^3(z_1) \cdot A_{23}^1(x_1) \cdot \overline{r_{31}} \\ \overline{r_{02}} = A_{01}^6(\varphi_2) \cdot A_{12}^3(z_2) \cdot A_{23}^1(x_1) \cdot \overline{r_{32}} \end{cases} \quad (1)$$

де  $\overline{r_{31}} = [x_{31}, y_{31}, z_{31}, 1]^T$ ,  $\overline{r_{32}} = [x_{32}, y_{32}, z_{32}, 1]^T$  – радіус-вектори точок першого та другого різця відповідно;  $\overline{r_{01}} = [x_{01}, y_{01}, z_{01}, 1]^T$ ,  $\overline{r_{02}} = [x_{02}, y_{02}, z_{02}, 1]^T$  – радіус-вектори точок першого та другого різця в системі координат першої і другої заготовки;  $A_{01}^6(\varphi_1)$ ,  $A_{01}^6(\varphi_2)$  – матриці повороту навколо осей  $Z_1$  і  $Z_2$ ;

$A_{12}^3(z_1)$ ,  $A_{12}^3(z_2)$  – матриці переміщень вздовж осей  $Z_1$  і  $Z_2$ ;  $A_{23}^1(x_1)$ ,  $A_{23}^1(x_2)$  – матриці переміщень вздовж осей  $X_1$  і  $X_2$ .

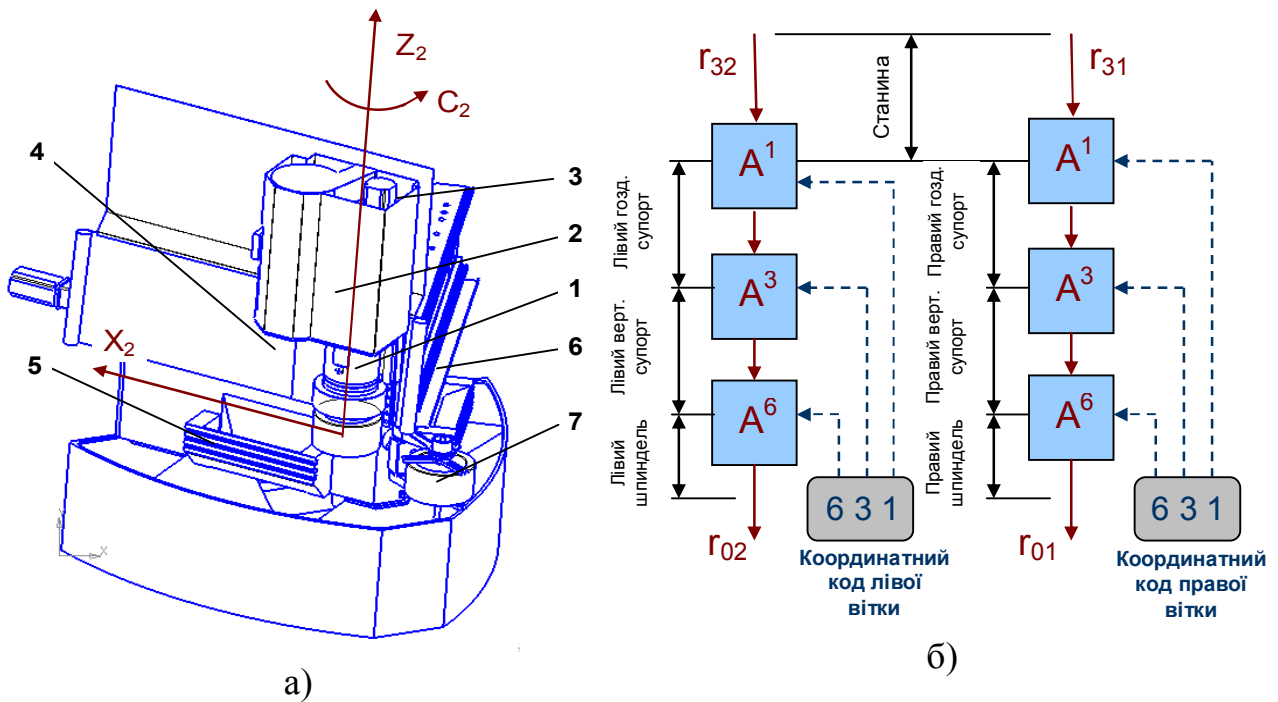


Рис.1. Основні вузли (а) та формоутворююча структура (б) двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК мод. ПАБ-350 : 1 – шпинделі; 2 – шпиндельні бабки; 3 – вертикальні супорти; 4 – горизонтальні супорти; 5 – інструментальні системи; 6 – станина; 7 – перевантажувач

Прийнявши обидва різці точковими різальними інструментами  $\overline{r_{31}} = \overline{e^4} = (0,0,0,1)^T$ ,  $\overline{r_{32}} = \overline{e^4} = (0,0,0,1)^T$  та перемноживши матриці перетворення координат отримано функцію формоутворення:

$$\begin{cases} \overline{r_{01}} = [x_1 \cos(\varphi_1), x_1 \sin(\varphi_1), z_1, 1]^T \\ \overline{r_{02}} = [x_2 \cos(\varphi_2), x_2 \sin(\varphi_2), z_2, 1]^T \end{cases} \quad (2)$$

Отримано векторний баланс точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК, що являється варіацією його функції формоутворення (2) без врахування зв'язків і похибок різального інструменту:

$$\begin{cases} \Delta \overline{r_{01}} = (\varepsilon_{01} A_{01}^6(\varphi_1) A_{12}^3(z_1) A_{23}^1(x_1) + A_{01}^6(\varphi_1) \varepsilon_{11} A_{12}^3(z_1) A_{23}^1(x_1) + \\ + A_{01}^6(\varphi_1) A_{12}^3(z_1) \varepsilon_{21} A_{23}^1(x_1) + A_{01}^6(\varphi_1) A_{12}^3(z_1) A_{23}^1(x_1) \varepsilon_{31}) \cdot \overline{r_{31}} \\ \Delta \overline{r_{02}} = (\varepsilon_{02} A_{01}^6(\varphi_2) A_{12}^3(z_2) A_{23}^1(x_2) + A_{01}^6(\varphi_2) \varepsilon_{12} A_{12}^3(z_2) A_{23}^1(x_2) + \\ + A_{01}^6(\varphi_2) A_{12}^3(z_2) \varepsilon_{22} A_{23}^1(x_2) + A_{01}^6(\varphi_2) A_{12}^3(z_2) A_{23}^1(x_2) \varepsilon_{32}) \cdot \overline{r_{32}} \end{cases} \quad (3)$$

де  $\varepsilon_{i1}$  ( $i=0,1,2,3$ ) - матриця повної похибки положення  $i$ -ої ланки правої вітки формоутворюючої системи;  $\varepsilon_{i2}$  ( $i=0,1,2,3$ ) - матриця повної похибки положення  $i$ -ої ланки лівої вітки формоутворюючої системи.

Використовуючи залежність (3) можна оцінити вплив на точність оброблених поверхонь похибок положення вузлів правої і лівої віток двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК.

г) Шостий розділ «**ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ**» містить комплекс необхідних економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних рішень.

h) Сьомий розділ «**ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**» присвячений висвітленню питань, щодо забезпечення безпечних умов праці на верстаті та аналізу дій адміністративного та виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

і) Восьмий 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. Проведений аналіз верстатів аналогічного призначення показав, що майже всі вони мають лінійну компоновку з рухомими по двох координатах шпindelними бабками, можуть оснащуватися моторшпindelями та виготовлятися під умови замовника.

2. Вибрано раціональну компоновку верстата на основі встановлених технічних завдань умов відбору.

3. Вибрано технологічні, кінематичні та силові характеристики приводу головного руху вертикального двошпindelного токарного верстата з ЧПК та здійснено вибір двигуна.

4. Вибрано структуру приводу головного руху. Спроековано привід головного руху, який має короткий кінематичний ланцюг, що включає асинхронний частотно-регульований електродвигун, зубчасту передачу та шпindelний вузол. Розроблено конструкцію шпindelного вузла. Проведено статичний та динамічний розрахунок шпindelного вузла. Проведено автоматизований вибір та перевірочний розрахунок підшипників шпindelного вузла за допомогою пакета прикладних програм GMN Globus.

5. Приведені показники геометричної точності оброблених на верстаті деталей, якими є точність розмірів, точність форми оброблених поверхонь, точністю взаємного розташування поверхонь та точність мікрогеометрії оброблених поверхонь.

6. Проведений аналіз досвіду вітчизняних та закордонних наукових шкіл в області точності металорізальних верстатів.

7. Приведена структура моделі вихідної точності верстата та основні етапи варіаційного методу розрахунку його точності.

8. Виходячи із опису процесу формоутворення та координатного коду правої і лівої віток розроблена формоутворююча структура двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК та модель функції формоутворення, що відображає зв'язок між координатами точок різальної кромки інструменту в системі координат різального інструменту і координатами тих самих точок в системі координат оброблюваної заготовки для правої і лівої віток.



9. Отримано векторний баланс точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК, який являється варіацією його функції формоутворення, і дає можливість оцінити вплив на точність оброблених поверхонь похибок положення вузлів правої і лівої віток його формоутворюючої системи.

10. Передбачено заходи по охороні праці, безпеці життєдіяльності, екології та охороні навколишнього середовища.

11. Проведено техніко-економічне обґрунтування прийнятих конструкторських рішень.

## **5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

1. Волошин В.Н., Рекис М.І. Векторний баланс точності двошпindelного вертикального токарного верстату з ЧПК// Збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Том I. – Тернопіль, 2019.– С. 56-57.

2. Волошин В.Н., Луців В.В. Формоутворюючі можливості п'ятикоординатного фрезерного верстату з ЧПУ// Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Том I. – Тернопіль, 2018.– С. 56-57.

3. Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ Упоряд. Кузнєцов Ю.М.. – К.: - Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.

4. Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М. Оцінка впливу похибок комплексного самоналагоджувального оснащення на точність форми циліндричних поверхонь/ // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. – 2016.– Випуск 839. – С.80 – 85.

5. Ihor Lutsiv, Vitalij Voloshyn, Valeriy Buhovets. Shape forming system model of lathes two-carriage tool systems// Scientific journal of the Ternopil national technical university. – 2018 – №3 (91) – pp. 80-87.

6. I. Lutsiv, V. Voloshyn, V. Buhovets. Definition of component elements position errors of integrated self-adjusting equipment for turning// Technological Complexes. – 2016 – №1 (13) – pp. 98-105.

7. Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М. Модель точності двосупортних токарних верстатів з ЧПК при дворізцевій обробці// Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка технологія та інженерна освіта»: Матеріали конференції. – Київ-Херсон, 2019.– С. 220-222.

8. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.

9. Портман В.Т. Универсальный метод расчета точности механических устройств // Вестник машиностроения. – 1981. – №7. – С. 12-16.

10. Портман В.Т. Модель выходной точности станка/ В.Т. Портман, В.Г. Шустер// Вестник машиностроения. – 1983. – №9. – С. 30-33.

## 6. АНОТАЦІЇ

Реkis М.І.; «Розробка моделі точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК». 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2019 р.

У дипломній роботі розглянуті питання, які пов'язані із розробкою формоутворюючої структури, моделі функції формоутворення, та моделі векторного балансу точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК для оцінки впливу на точність оброблених поверхонь похибок положення його вузлів.

Вибрано структуру приводу головного руху. Вибрано привідний двигун для приводу головного руху, проведено розрахунок валів та зубчастих коліс. Розроблено конструкцію приводу головного руху верстата. Проведено статичний і динамічний розрахунок шпindelного вузла.

Проведений аналіз досвіду вітчизняних та закордонних наукових шкіл в області точності металорізальних верстатів. Приведена структура моделі вихідної точності верстата та основні етапи варіаційного методу розрахунку його точності. Виходячи із опису процесу формоутворення та координатного коду розроблена формоутворююча структура двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК та модель функції формоутворення. Отримано векторний баланс точності двошпindelного вертикального токарного верстата з ЧПК, який являється варіацією його функції формоутворення. Він дає можливість оцінити вплив на точність оброблених поверхонь похибок положення його вузлів.

Ключові слова: двошпindelний вертикальний токарний верстат, точність, функція формоутворення, векторний баланс точності.

Rekys M.I.; «Development of a model of accuracy of a NC two-spindle vertical lathe». 133 - Mechanical engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2019.

The thesis deals with the issues related to the development of the forming structure, the model of the forming function, and the model of the vector balance of accuracy of a NC two-spindle vertical lathe to evaluate the influence on the accuracy of the treated surfaces of the errors of the position of its nodes.

The structure of the drive of the main movement is selected. The drive motor was selected to drive the main movement, the shafts and gears were calculated. The design of the drive of the main movement of the machine is developed. The static and dynamic calculation of the spindle assembly was carried out.

The experience of domestic and foreign scientific schools in the field of precision metal-cutting machines is analyzed. The structure of the model of the initial accuracy of the machine and the main steps of the variational method of calculating its accuracy are presented. Based on the description of the molding process and the coordinate code, the molding structure of a NC two-spindle vertical lathe and a model of the molding function have been developed. A vector precision balance of a NC two-spindle vertical lathe is obtained, which is a variation of its shape-forming

function. It gives an opportunity to evaluate the influence on the accuracy of the treated surfaces of the errors of the position of its nodes.

Key words: NC two-spindle vertical lathe, precision, form-shaping function, vector balance accuracy.

