

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

НЕДОБОЙ ВАДИМ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 621.914.3

**ЗАТИСКНІ МЕХАНІЗМИ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ
ВУЗЛІВ НА МОДУЛЬНОМУ ПРИНЦИПІ ДЛЯ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ**

05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2016

Дисертація на правах рукопису.

Роботу виконано на кафедрі конструювання верстатів і машин Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" (НТУУ "КПІ") Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кузнєцов Юрій Миколайович,
Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут",
професор кафедри конструювання верстатів і машин

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор
Федориненко Дмитро Юрійович,
Чернігівський національний технологічний університет,
професор кафедри технологій машинобудування та
деревобробки

кандидат технічних наук, доцент
Полінкевич Роман Миколайович,
Луцький національний технічний університет,
доцент кафедри комп'ютерного проектування верстатів
та технологій машинобудування

Захист відбудеться "10" червня 2016 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.03 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, Україна, м.Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль вул. Руська, 56, корпус №2.

Автореферат розіслано "6" травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.Є. Дячун

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З підвищенням технічного рівня сучасних фрезерних верстатів і автоматичних верстатних систем в умовах високошвидкісної і прецизійної обробки деталей вимагає покращення характеристик їх основних механізмів, вузлів і технологічного оснащення.

Одними із основних механізмів верстата є шпindelльні вузли (ШВ) з затискними механізмами (ЗМ). Конструкція затискних механізмів суттєво впливає на точність і продуктивність обробки деталей, тому що від цього залежить точність позиціонування інструментів, витрати допоміжного часу на зміну інструмента, жорсткість і вібростійкість цих механізмів і верстата взагалі. Основною тенденцією сучасного верстатобудування є створення суміщених і гібридних систем ЗМ з гідравлічними, електромеханічними та електрогідравлічними приводами, які б відповідали заданим характеристикам при високошвидкісній і прецизійній обробці.

Відомі дослідження в основному присвячені ЗМ з механічним і гідравлічним затиском пруткових і штучних заготовок на токарних верстатах, а також оправок з ручним затиском інструментів на свердлильно-фрезерних та багатоцільових верстатах з різними системами керування.

Для створення фрезерних верстатів нового покоління, призначених для високошвидкісної і прецизійної обробки, потрібне створення нових суміщених схем ЗМ, що потребує проведення додаткових теоретичних і експериментальних досліджень та розробки методів проектування, що визначає **актуальність** даної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Роботу виконано відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” держбюджетної теми №2267-Ф “Розвиток теорії проектування верстатів нових компоновок на базі системного аналізу та синтезу механізмів з паралельною структурою” (реєстраційний №0109U000817), №2652-П “Створення багатоцільових токарних і багатокоординатних свердлильно-фрезерних верстатів нового покоління з механізмами паралельної структури” (реєстраційний №0113U002460), №2805-П “Створення і дослідження високошвидкісних шпindelльних вузлів із затискними механізмами на модульному принципі для багатокоординатних верстатів нового покоління” (реєстраційний №0115U002422) та співпраці з Болгарією (ТУ- Габрово).

Мета і задачі дослідження. *Метою дисертаційної роботи* є підвищення ефективності фрезерних верстатів з ЧПК за рахунок створення ЗМ високошвидкісних ШВ на модульному принципі та розробка методів їх проектування.

Для досягнення мети в роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

1. На підставі патентно-інформаційних досліджень виконати аналіз схем і конструкцій ЗМ для затиску тіл обертання високошвидкісних і прецизійних шпindelльних вузлів.
2. Виконати аналіз раніше проведених досліджень високошвидкісних ШВ з різними типами ЗМ.

3. Теоретично дослідити характеристики високошвидкісних прецизійних інструментальних затискних патронів (ІЗП) з гідромеханічним принципом затиску.

4. Розробити експериментальний стенд, розробити методикау і провести експериментальні дослідження статичних характеристик ІЗП з гідромеханічним принципом затиску в лабораторних і виробничих умовах.

5. Розробити на модульному принципі високошвидкісний мотор-шпиндель приводу головного руху для фрезерного верстата з електромеханічним ЗМ.

6. Теоретично дослідити і експериментально підтвердити статичні характеристики і працездатність створеного ШВ з електромеханічним приводом затиску.

7. Розробити практичні рекомендації щодо розрахунку, проектування, удосконалення, експлуатації і впровадження побудованих на модульному принципі високошвидкісних ШВ з електромеханічними ЗМ.

Об'єктом досліджень є гідромеханічні та електромеханічні ЗМ для високошвидкісних ШВ фрезерних верстатів з ЧПК.

Предметом досліджень є робочі характеристики створених на модульному принципі ЗМ з різними перетворювачами енергії у складі високошвидкісних ШВ.

Методи дослідження.

Теоретичні дослідження базуються на основі фундаментальних засад конструювання верстатів та машин, теоретичної механіки, опору матеріалів, інформатики, теорії автоматизованого управління, теорії машин і механізмів, електромеханіки, математичного моделювання, а також основ науково-технічної творчості і системного підходу. Теоретичні дослідження жорсткості ЗМ проводилися на основі теорії пружності і пластичності, в тому числі з використанням методу кінцевих елементів.

Експериментальні дослідження проводилися на основі спеціально створених стендів з використанням сучасних верстатів, контрольно-вимірювальних приладів та існуючого технологічного оснащення. Оброблення результатів виконувалось з використанням методики багатофакторного планування експериментів та за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше сформульовано, теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено концепцію створення високошвидкісних ШВ з електромеханічним ЗМ на модульному принципі.

2. Вперше теоретично і експериментально встановлено обмежені функціональні можливості ІЗП гідромеханічного типу для затиску циліндричних хвостовиків, які мають відхилення діаметрів не більше 0,04 мм та їх низький і нестабільний коефіцієнт підсилення.

3. Вперше для ІЗП гідромеханічного типу отримані регресійні моделі, які дозволяють встановити вплив матеріалу оброблюваної заготовки, гідравлічного тиску затиску та глибини різання на параметри точності і шорсткості оброблених поверхонь.

4. Отримала подальший розвиток модель розрахунку статичної жорсткості ІЗП з конусною втулкою, що дозволяє вибирати раціональні конструктивні і

експлуатаційні параметри для забезпечення надійного затиску хвостовика інструменту.

Практичне значення одержаних результатів.

1. На основі модульного принципу створено діючий дослідно-експериментальний зразок високошвидкісного ШВ на базі мотор-шпинделя з електромеханічним ЗМ.

2. За результатами експериментальних досліджень ІЗП гідромеханічного типу встановлено зв'язок між відхиленнями від номінального діаметра хвостовика та силою затиску, що дозволяє відділу технологічного контролю інструментального виробництва забезпечувати використання інструментів з циліндричним хвостовиком відповідних розмірів по діаметру.

3. За результатами виробничих випробувань при різних режимах затиску встановлено вплив характеристики ІЗП гідромеханічного типу на якість оброблених деталей.

4. Результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі конструювання верстатів та машин НТУУ «КПІ».

5. За результатами дисертаційної роботи розроблені рекомендації для налаштування ІЗП гідромеханічного типу при різній конструкції хвостовика інструмента, які передані для впровадження на підприємство.

6. Дослідний зразок нового ШВ, розроблений на модульному принципі, представлений на міжнародній спеціалізованій виставці “Металообробка, інструмент, пластмаса” (м. Київ).

Особистий внесок здобувача:

- розробка методики експериментальних досліджень силових та жорсткісних характеристик ІЗП та ШВ з електромеханічним ЗМ [2, 3, 13];

- планування багатофакторного експерименту для дослідження гідромеханічного ІЗП та обробка отриманих результатів [10, 12];

- розробка конструкції експериментального обладнання і проведення експериментів для дослідження гідромеханічного високошвидкісного ІЗП [8,9];

- розробка та створення експериментального стенду для дослідження ЗМ з електромеханічним приводом і проведення його досліджень [4, 5, 11, 14];

- синтез нових конструкцій ЗМ і ШВ [1, 6, 7].

Апробація результатів дисертації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи були викладені на 9 конференціях, в тому числі на 3-х закордонних: Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2012); Міжнародна науково-технічна конференція "Машинобудування очима молодих" (Севастополь, 2012); XIII Міжнародна науково-технічна конференція "Машинобудування очима молодих" (Кременчук, 2013); International scientific conference "UNITECH'13" (Bulgaria, Gabrovo, 2013); Technologia i Automatyizacja Montażu – Technology and Assembly Automation (TiAM-2014) (Poland, Rzeszow, 2014); International Scientific Conference "UNITECH'14" (Bulgaria, Gabrovo, 2014); XIV Всеукраїнська молодіжна науково-технічна конференція "Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво”,

(Суми, 2014); Загальноуніверситетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвячена дню Науки та 90 – річчю з дня народження Володимира Олександровича Федорця, (НТУУ “КПІ”, 2015); XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Промислова гідравліка та пневматика» (Суми, 2015). Крім того результати представлялися на студентських конференціях механіко-машинобудівного інституту і наукових семінарах кафедри конструювання верстатів і машин в 2012-2015 рр., а також в Технічному університеті Габрово (Болгарія) під час наукового стажування.

Публікації.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 21 наукову працю, серед яких 5 статей у фахових виданнях, затверджених переліком МОН України, в тому числі 1 – в закордонному виданні, 9 тез доповідей та 7 патентів України на корисні моделі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків і списку використаних літературних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 216 друкованих сторінок, у тому числі 189 сторінки основного тексту, 26 сторінок додатків, 156 рисунків, 18 таблиць. Список використаної літератури складається із 130 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, сформовано мету, об’єкт, предмет досліджень та задачі, які розв’язувалися в роботі, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Обґрунтовано доцільність проведення досліджень та використання спроектованого устаткування.

В **першому розділі** проведено патентно-інформаційні дослідження, на основі яких виконано аналіз існуючих схем і конструкцій високошвидкісних і прецизійних ЗМ для тіл обертання у складі ШВ, а також аналіз досліджень високошвидкісних ШВ з різними ЗМ. Також було розглянуто основні вимоги, які висуваються до сучасних ЗМ в умовах сучасної технології обробки різанням.

Питаннями по дослідженню ЗМ ШВ займалися такі вчені як Дмитрієвська Ю.С., Іванюк І.О., Кузнецов Ю.М., Неделчева П.М., Придальний Б.І, Торба В.В., Сидорко В.І., Фіранський В.Б., Юрчишин О.Я., Michael Bräunig, Martin S. Kurnadi та інші. Точністю, динамікою, моніторингом і діагностикою ШВ займаються Данильченко Ю.М., Дзюба В.І., Полінкевич Р.М., Сапон С.П., Федориненко Д.Ю., Dering Liu та інші.

За результатами аналізу сучасного стану в сфері розробки конструкцій та досліджень ЗМ, можна сказати, що, по-перше, переважна більшість механізмів мають складну конструкцію, що є неприйнятним з конструктивної та економічної точки зору. По-друге, зважаючи на сучасні тенденції з підвищення режимів різання, вимог до оброблюваних поверхонь, існуючі ЗМ не повною мірою відповідають постійно зростаючим вимогам підвищення частоти обертання шпинделя. По-третє, виходячи з проведеного раніше аналізу, можна зробити висновок, що ЗМ мають не достатній рівень автоматизації, що суперечить розвиткові сучасних систем, які прагнуть досягти повної автоматизації і найменшого втручання людини в процес виробництва. Також, можна сказати, що не достатньо уваги приділено взаємозамінності та універсальності вузлів ЗМ та ШВ з автоматичними ЗМ. З

проведеного аналізу наукових праць та з постановки питань видно, що сучасний стан розвитку ЗМ є не достатнім відповідно до вимог висунутих до ЗМ. Це потребує проведення додаткових глибших та ґрунтовніших теоретичних та експериментальних досліджень ЗМ на всіх етапах проектування та розробки, а також на етапах виготовлення дослідницьких стендів. Відповідно до цього було сформульовано мету роботи і визначено задачі досліджень.

В другому розділі розроблено методику і проведено теоретичні та експериментальні дослідження силових та жорсткісних характеристик ІЗП. Встановлено вплив конструкції хвостовика інструмента на характеристики ІЗП. Вперше, за допомогою багатофакторного планування експерименту було проведено виробничий експеримент обробки деталей при трьох змінних факторах – матеріал, тиск затиску, глибина різання та встановлення їх впливу на якість обробки – критерії якості за шорсткістю та точністю обробки за формою. За допомогою вищезгаданих досліджень розроблено рекомендації для інструментального виробництва щодо налаштування ІЗП різного типу у відповідності до форми хвостовика інструмента.

Патрон складається з рухомої конусної втулки, нерухомої упорної втулки, змінної циліндричної цанги, хвостовика SK40 для затиску в шпинделі верстата.

Для проведення теоретичних досліджень щодо визначення статичних силових характеристик ІЗП складено розрахункові схеми для знаходження пружного переміщення Δ в системі при вибірці зазору (рис. 1, а) та переміщень пружної конічної втулки U_{BH} при створенні натягу в системі (рис. 1, б).

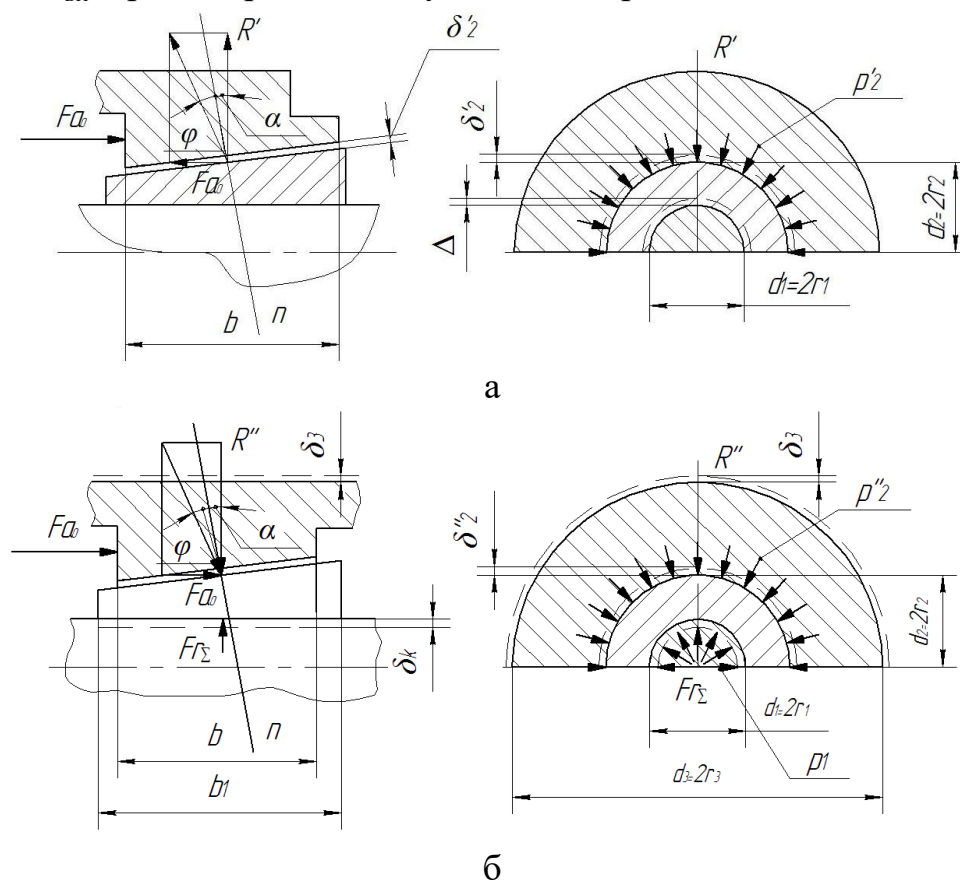


Рис. 1. Розрахункові схеми для визначення пружних переміщень : а – вибірка зазору; б – натяг системи для отримання радіальної сили затиску інструмента

На рис. 1 позначені: R' - радіальна сила створена на конічній поверхні з боку приводної втулки при вибірці зазору, R'' - радіальна сила створена на конічній поверхні з боку приводної втулки при створенні натягу, p_2' - рівномірно розподілений тиск по втулці при вибірці зазору, δ_2' та δ_2'' - зазор між втулками при створенні натягу та вибірці зазору відповідно, δ_3 - зазор, що виникає в камері затиску.

На основі розрахункової схеми на рис. 1, а отримано залежності для визначення осової сили затиску для забезпечення вибірки зазорів між хвостовиком інструмента та конічною пружною втулкою:

$$F_{a_0} = \frac{\pi \cdot b \cdot \Delta \cdot (1 - k^2)}{k \cdot \text{ctg}(\alpha + \varphi)}, \quad (1)$$

де α - кут нахилу конічної поверхні; φ - кут тертя поверхонь; b - довжина контакту поверхонь втулок; k - відношення діаметра хвостовика інструменту до середнього зовнішнього діаметру пружної конічної втулки.

Залежність для знаходження радіального тиску на хвостовик інструмента при затиску (рис. 1, б):

$$p_1 = p_2'' \cdot \left[1 + \frac{1+k}{1-k} / 2k^2 + \frac{1+k}{1-k} - 1 \right], \quad (2)$$

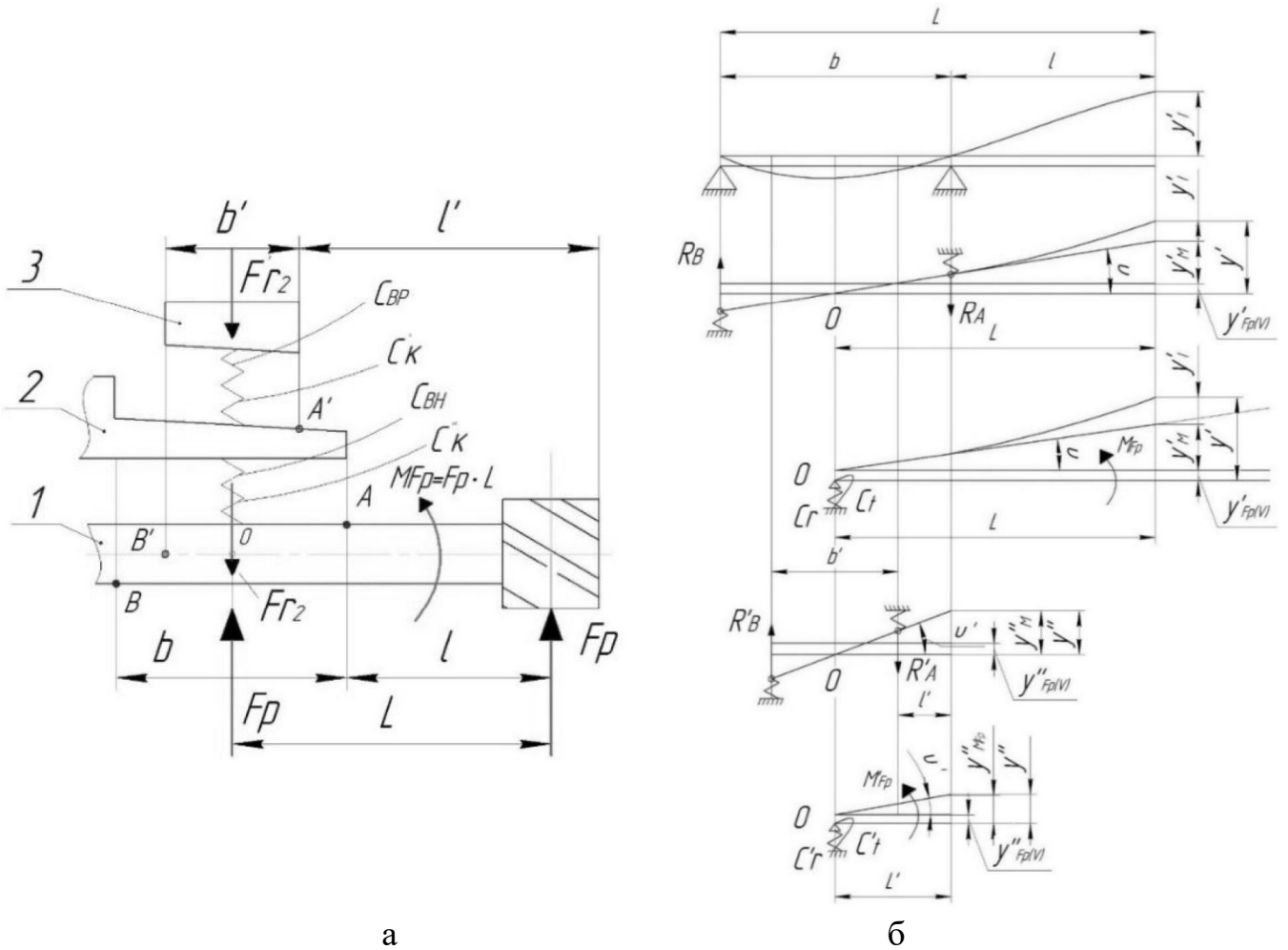
де p_2'' - тиск, що утворюється на зовнішній поверхні пружної конічної втулки від сили F_{a_0} при отриманні натягу.

Отримано формулу для знаходження теоретичного моменту прокручування:

$$M_{pr} = \frac{\pi \cdot \mu_1 \cdot d_1^2 \cdot b \cdot p_1}{2}, \quad (3)$$

де μ_1 - коефіцієнт тертя (зчеплення) затискного елемента з хвостовиком інструмента при прокручуванні; d_1 - діаметр хвостовика інструмента.

При проведенні теоретичних досліджень щодо визначення статичної жорсткості ІЗП були складені розрахункові схеми, що дали можливість отримати залежності для визначення пружних радіальних переміщень та статичної жорсткості в системі (рис. 2). На рис. 2 позначені: C_{BH} - жорсткість нерухомої втулки; C_{κ}'' - контактна жорсткість нерухомої втулки; C_{BP} - жорсткість рухомої втулки; C_{κ}' - контактна жорсткість рухомої втулки; C_t , C_t' та C_r , C_r' - поворотні та радіальні жорсткості відповідно; R_A , R_B та R_A' , R_B' - реакції опор в точках A , B та A' , B' для нерухомої і рухомої втулок відповідно; F_p - сила що діє в місці закріплення інструмента $F_p = -R_A$; y'_{F_p} - переміщення від дії сили F_p в точці O ; $y'_{M_{F_p}}$ - переміщення від повороту балки на кут ϑ під дією моменту від сили різання $M_{F_p} = F_p \cdot L$; y_l - переміщення консольного хвостовика при умові абсолютно жорсткого защемлення в т. O . y''_{F_p} - переміщення від дії сили F_p ; $y''_{M_{F_p}}$ - деформація від повороту балки на кут ϑ' під дією моменту від сили різання $M'_{F_p} = F_p \cdot L'$; L та L' - відстань між опорами в відповідній системі.



а

б

Рис. 2. Розрахункова схема для визначення статичної жорсткості ІЗП (а) та приведення розрахункової схеми до пружного шарніру (б):

1 – інструмент; 2 – втулка нерухома; 3 – втулка рухома

Із схеми отримуємо поворотні жорсткості:

- для нерухомої втулки:

$$C_t = \frac{M_{F_p}}{\nu} = \frac{F_p \cdot L \cdot C_{ip} \cdot l}{2F_p \cdot (l + 2b)} = C_{ip} \cdot \frac{L \cdot l}{2(l + 2b)}, \quad (4)$$

- для рухомої втулки

$$C'_t = \frac{M_{F_p}}{\nu'} = \frac{F_p \cdot L \cdot C_{ip} \cdot l'}{2F_p \cdot (l' + 2b')} = C_{ip} \cdot \frac{L \cdot l'}{2(l' + 2b')}, \quad (5)$$

де C_{ip} – жорсткість підсистеми “інструмент-втулка нерухома”. l – виліт інструмента
 l' – виліт нерухомої втулки, b' – ширина рухомої втулки.

Сумарне значення пружних радіальних відтискань системи:

$$y = F_p \cdot \left(\frac{1}{C_r} + \frac{L^2}{C_t} + \frac{L^2}{3EJ} \right) + F'_p \cdot \left(\frac{1}{C'_r} + \frac{L^2}{C'_t} \right), \quad (6)$$

де C_r та C'_r – радіальна жорсткість в місці затиску та контакту втулок відповідно;
 J – момент інерції інструмента; E – модуль пружності інструмента.

Було проведено експерименти для визначення статичних характеристик ІЗП (рис. 3).

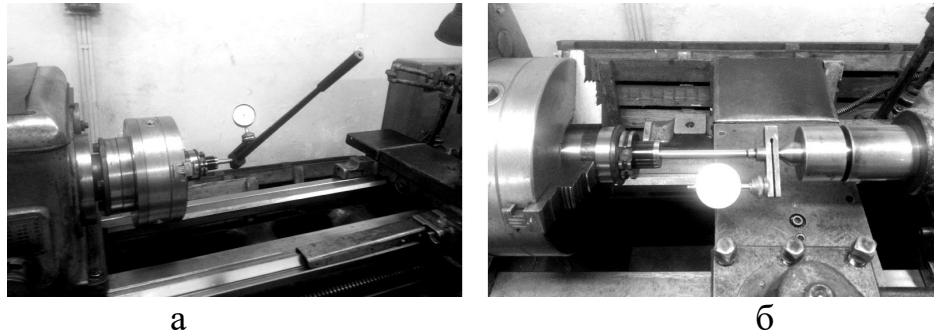


Рис. 3. Експерименти на токарному верстаті для визначення моменту прокручування (а) та сили проштовхування (б) оправки в ІЗП

За результатами експериментів були побудовані графіки залежностей коефіцієнта підсилення ІЗП від тиску затиску оправки з різними відхилення по діаметру (рис. 4).

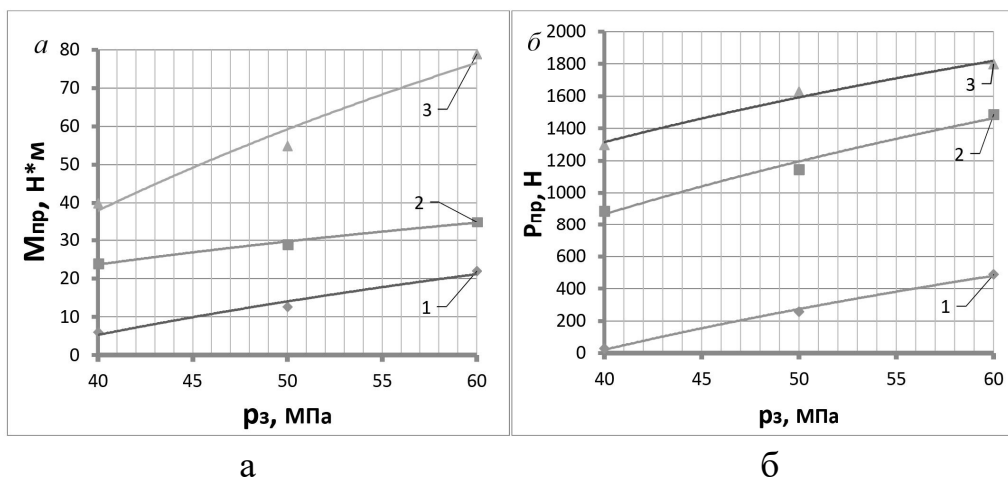


Рис. 4. Графіки залежності моменту прокручування (а) та сили проштовхування (б) від тиску затиску p_3 оправок діаметром $d_H=12$ з відхиленнями 1 – $\Delta = -0,04$ мм; 2 – $\Delta = -0,02$ мм; 3 – $\Delta = 0$ мм

Коефіцієнти підсилення вираховувалися за залежностями (7) та (8) з експериментальних даних для визначення моменту прокручування та сили проштовхування. Для першого випадку вони є в межах від 0,5 до 5, в другому – від 0,5 до 14. Це свідчить про те, що патрон здатний краще сприймати осьові навантаження, ніж радіальні.

Коефіцієнти підсилення:

- для моменту прокручування

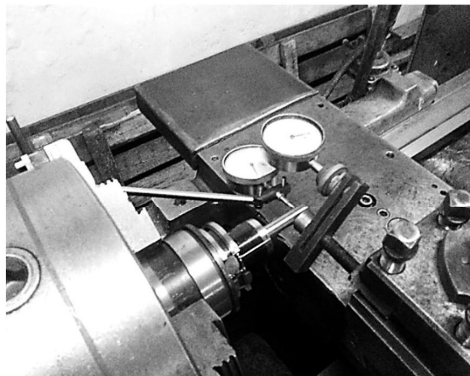
$$K'_{II} = \frac{F_{r\Sigma}}{F_{a\Sigma}} = \frac{2M_{np}}{\mu_1 \cdot d \cdot p_3 \cdot S}; \quad (7)$$

- для сили проштовхування

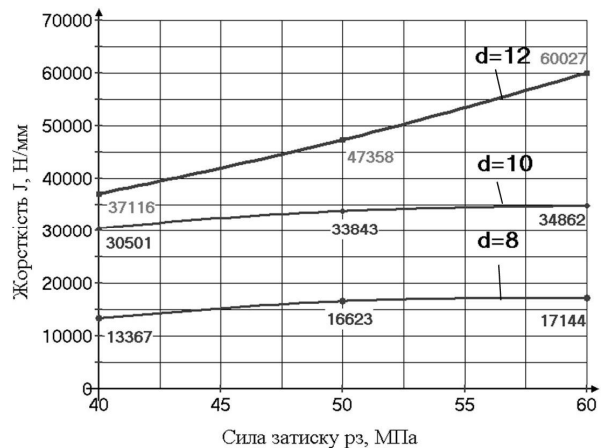
$$K''_{II} = \frac{F_{r\Sigma}}{F_{a\Sigma}} = \frac{P_{np}}{\mu_2 \cdot p_3 \cdot S}, \quad (8)$$

де $F_{r\Sigma}$ – радіальна сила; $F_{a\Sigma}$ – сумарна осьова сила; d – діаметр оправки; μ_1 та μ_2 – коефіцієнт тертя (зчеплення) затискного елемента з хвостовиком інструмента при прокручуванні та проштовхуванні відповідно; p_3 – тиск затиску; S – площа гідроциліндра; M_{np} – момент прокручування; P_{np} – сила проштовхування.

При дослідженні жорсткісних характеристик ІЗП (рис. 5) було визначено, що максимальна жорсткість становить близько 60000 Н/мм.



а



б

Рис. 5. Жорсткісні характеристики ІЗП: а – експериментальний стенд; б – графік залежності жорсткості від тиску затиску при різних діаметрах оправки

Також, вперше, було отримано дані та розроблено рекомендації з результатів експерименту для ІЗП щодо відсіювання інструментів з хвостовиком, який має відхилення від номінального діаметра більше 0,04мм. Дані рекомендації були передані для впровадження на підприємство.

За допомогою багатофакторного планування експеримента сплановано та проведено експерименти у виробничих умовах, що дозволили отримати математичні (регресійні) моделі для визначення критеріїв якості обробленої деталі в залежності від факторів, що впливають із налаштування патрона і характеристик процесу обробки. Після обробки деталей круглого та квадратного перерізу було отримано круглограми та профілограми, за якими можна судити про якість обробки від вибору конкретних параметрів налаштування системи. З багатофакторного експеримента отримано математичні (регресійні) моделі, що показують вплив певних факторів на якість отриманої поверхні деталі і дають можливість спрогнозувати в майбутньому дані параметри від зміни величини факторів:

$$\begin{aligned}
 Y_{1кр} = & 54.2444 + 3.8278x_2 - 6.33333z_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 5.11111z_1 \cdot x_3 - \\
 & 3.16111x_1 - 3.84167x_1 \cdot x_2 + 2.55556x_3 - 2.7z_1 + 2.79167x_2 \cdot x_3 - 3.17222z_1 \cdot \\
 & x_2 - 4.27778z_1 \cdot z_2 \cdot x_3 + 2.63889z_2 \cdot x_3 - 3.03333z_1 \cdot z_2 + 2.07778z_2 - \\
 & 3.32222z_1 \cdot x_2 \cdot z_3 - 2.15556z_1 \cdot z_3 + 1.17222x_1 \cdot z_2 - 1.82222z_1 \cdot z_2 \cdot z_3
 \end{aligned} \quad (9)$$

де $x_1 = 1 \cdot (X_1 - 1)$; $z_1 = 1.5 \cdot (x_1^2 - 0.666667)$; $x_2 = 0.1 \cdot (X_2 - 50)$; $z_2 = 1.5 \cdot (x_2^2 - 0.666667)$; $x_3 = 1 \cdot (X_3 - 2)$; $z_3 = 1.5 \cdot (x_3^2 - 0.666667)$; $Y_{1кр}$ – це критерій якості $C_{кр}$; X_1, X_2, X_3 – змінні фактори відповідно матеріал, тиск затиску, глибина різання. Дана модель *адекватна* та *інформативна*, оцінка проводилася за F-критерієм. Таких моделей було отримано 9, для круглих і квадратних деталей.

В третьому розділі вперше було синтезовано, спроектовано, теоретично та експериментально досліджено діючий макет високошвидкісного ШВ з електромеханічним приводом затиску (ПрЗ) з використанням модульного принципу складання ШВ на основі готових модулів (рис. 6).

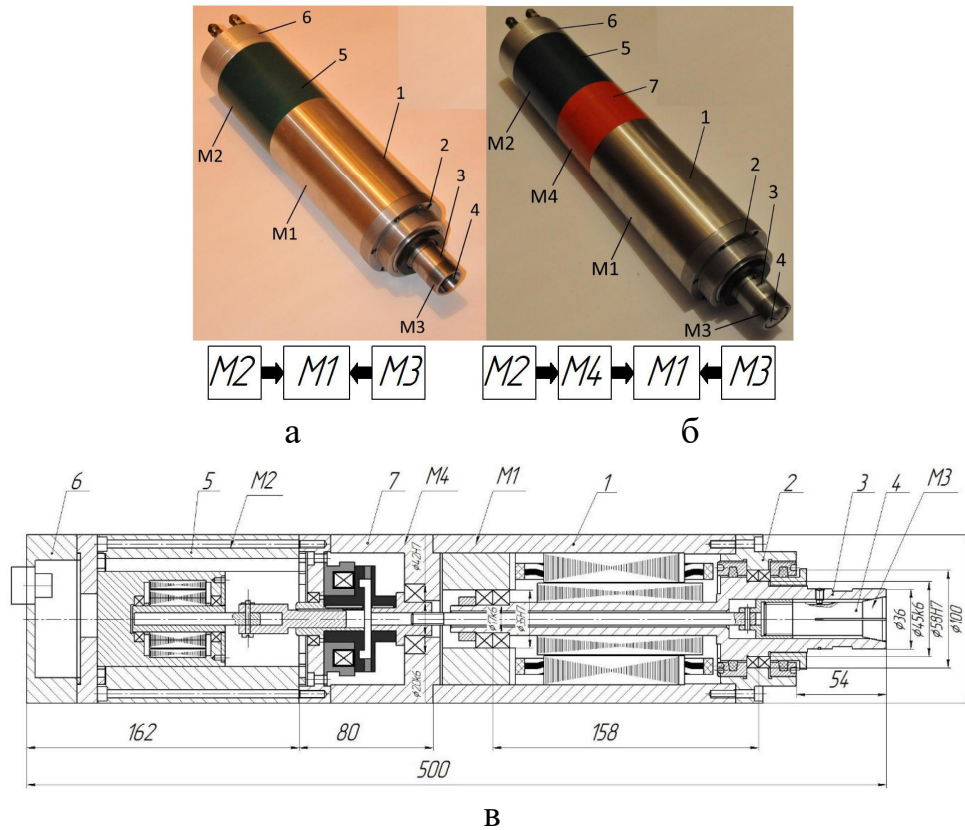


Рис. 6. Діюча модель виготовленого високошвидкісного мотор-шпинделя з електромеханічним ЗМ з набором модулів: а – без модуля М4 з електромагнітною муфтою; б – з модулем М4; в – конструктивна схема високошвидкісного мотор-шпинделя з електромеханічним ЗМ з модулем М4 для розмикання моменту в ПрЗ ЗМ: 1-моудль М1 у вигляді мотор-шпинделя; 2-фланець; 3-шпиндель; 4-ЗП (модуль М3); 5-ПрЗ; 6-задній фланець шпинделя з інтерфейсами підключення; 7-змінний модуль М4

Модуль М4 призначений для розмикання моменту від ПрЗ в ЗМ для підвищення техніко - економічних характеристик ШВ. З використанням модуля М4 ШВ може обертатися з частотою 24000 об/хв, а без нього до 3000-3500 об/хв.

Було проведено теоретичні дослідження для забезпечення силових характеристик при затиску інструмента в ЗМ з електромеханічним ПрЗ (рис. 7).

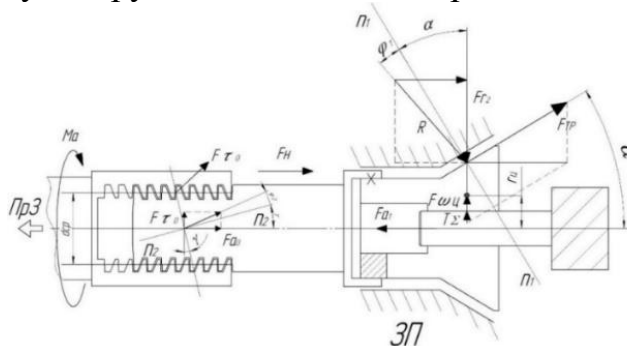
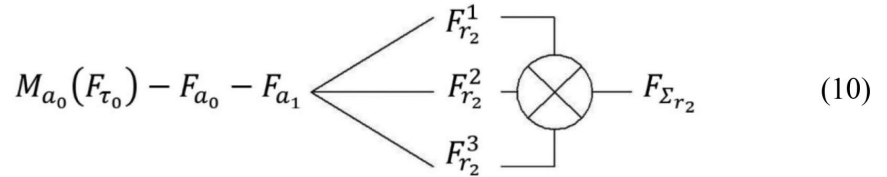


Рис. 7. Розрахункова схема ЗМ мотор-шпинделя з електромеханічним ПрЗ і цанговим затискним патроном

Від електромеханічного ПрЗ, в якому момент електромагнітного поля M_a від джерела енергії передається у вигляді силового (енергетичного) потоку до об'єкта

затиску (інструмента), забезпечується сумарна радіальна сила затиску $F_{\Sigma r_2} = z \cdot F_{r_2}$ (де $z=3$ – кількість затискних елементів – губок затискної цанги).

Силовий (енергетичний) потік виглядає так:



На рис. 8 представлена структурна схема передачі сили від джерела ЗМ.

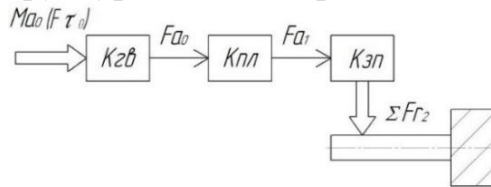


Рис. 8. Структурна схема передачі сили від джерела ЗМ

З даної схеми було розраховано коефіцієнт підсилення ЗМ. Загальний коефіцієнт підсилення ЗМ дорівнює:

$$K_{3M} = K_{ГВ} \cdot K_{ПЛ} \cdot K_{ЗП}, \quad (11)$$

де $K_{ГВ}$ – коефіцієнт підсилення гвинтової пари; $K_{ПЛ}$ – коефіцієнт втрати сили F_H в напрямних (шпонковому з'єднанні) при тангенціальному навантаженні F_{τ_0} ; $K_{ЗП}$ – коефіцієнт підсилення цангового патрону.

Після визначення всіх складових коефіцієнта підсилення ЗМ і підстановки їх у вираз (11) отримано:

$$K_{3M} = \operatorname{ctg}(\gamma + \varphi_2) \cdot \frac{\operatorname{ctg}(\gamma + \varphi_2)}{\operatorname{ctg}(\gamma + \varphi_2) + \operatorname{tg}\varphi_3} \cdot \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_1) = \frac{\operatorname{ctg}^2(\gamma + \varphi_2) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_1)}{\operatorname{ctg}(\gamma + \varphi_2) + \operatorname{tg}\varphi_3}, \quad (12)$$

де α – половина кута конуса цанги; φ_1 – кут від нормалі n_1 до реакції R ; γ – кут нахилу різьби; φ_2 – кут тертя іншої сторони різьби, оскільки різьба є упорна і самогальмуюча; φ_3 – кут тертя пелюсток.

Отримано залежність для розрахунку сумарної сили затиску для системи під час обертання шпинделя, де внаслідок дії відцентрових сил $F_{\omega_{ц}}$ на неврівноважені губки і пелюстки цанги зменшується радіальна сила затиску з врахуванням співвідношення жорсткості по обидва боки затискного елемента:

$$F_{r_2\omega} = F_{r_2} - F_{\omega_{ц}} \cdot \frac{C_i}{C_{П}} = F_{r_2} - F_{\omega_{ц}} \cdot \alpha_C, \quad (13)$$

де $F_{\omega_{ц}} = m_{ПЦ} \cdot \omega^2 \cdot r_{ц}$; $m_{ПЦ}$ – маса пелюсток цанги, $r_{ц}$ – радіус центра ваги пелюсток цанги; $\alpha_C = \frac{C_i}{C_{П}}$ – коефіцієнт жорсткості; C_i і $C_{П}$ – відповідно жорсткість інструмента і корпусу цангового ЗП.

Дані залежності дають можливість визначити силу затиску та коефіцієнт підсилення ЗМ будь-якого ШВ з електромеханічним ЗМ, складеного за допомогою модульного принципу, шляхом введення в систему додаткових модулів та вивчення їх енергетичного впливу на баланс системи. Запропоновано узагальнену схему для

розрахунку пружних відтискань та статичної жорсткості в системі “шпиндель-патрон-інструмент” (рис. 9).

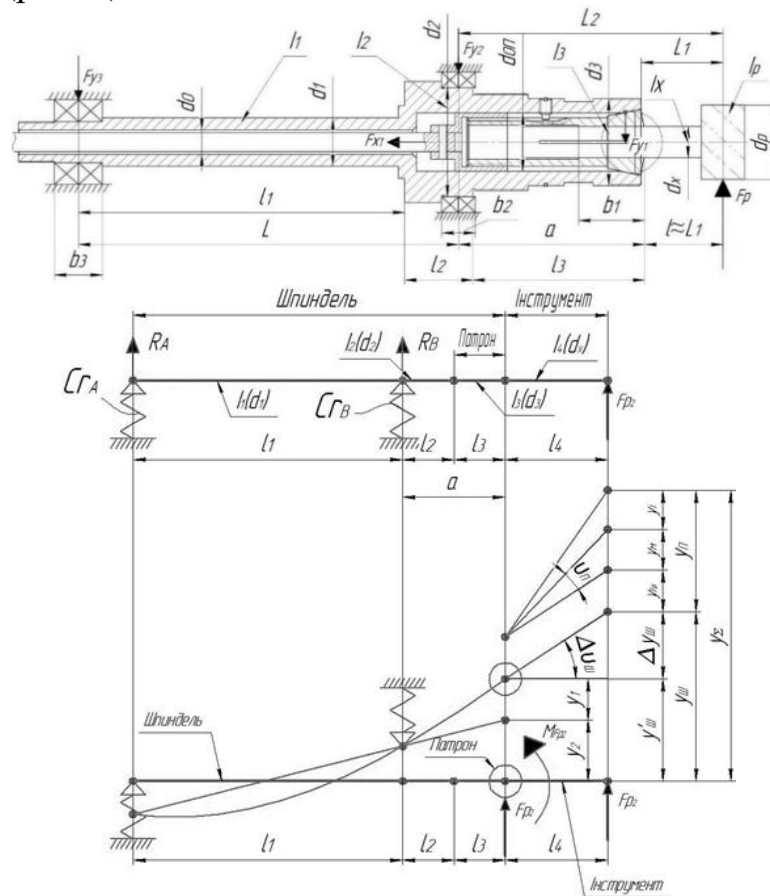


Рис. 9. Узагальнена розрахункова схема для визначення пружних відтискань в системі “шпиндель-патрон-інструмент”

На рис. 9 показано: F_{p_2} – сила прикладена до інструмента; $M_{F_{p_2}}$ – момент від сили F_{p_2} ; I_1, I_2, I_3, I_4 – моменти інерції кожного перерізу системи “шпиндель-патрон-інструмент”; l_1, l_2, l_3, l_4 – довжини перерізів системи “шпиндель-патрон-інструмент”; $a = l_2 + l_3$ – виліт переднього кінця шпинделя; $y_{ш}$ – пружні відтискання в системі “шпиндель-патрон”; $y_{п}$ – пружні відтискання в системі “патрон-інструмент”; $y'_{ш}$ – відтискання в місці встановлення патрона під дією перенесеної сили F_{p_2} та момента $M_{F_{p_2}}$, $\Delta y_{ш}$ – додаткове підтискання на вильоті l_4 ; y_1 – відтискання (радіальне переміщення) від згину шпинделя; y_2 – відтискання викликане піддатливістю опор; $\Delta \vartheta_{ш}$ – кут повороту консолі шпинделя на вильоті l_4 ; $y_{F_{p_2}}$ – відтискання від сили F_{p_2} через контактні зближення в патроні; y_M – відтискання через контактні зближення та кутових зазорів; $\vartheta_{п}$ – кут повороту патрона; y_i – відтискання викликані моментом інерції I_4 .

Згідної даної схеми визначено сумарні радіальні відтискання системи:

$$y_{\Sigma} = y_{ш} + y_{п}. \quad (14)$$

Перед виготовленням шпинделя був проведений його розрахунок в системі автоматизованого проектування для перевірки напружень та модального аналізу (рис. 10).

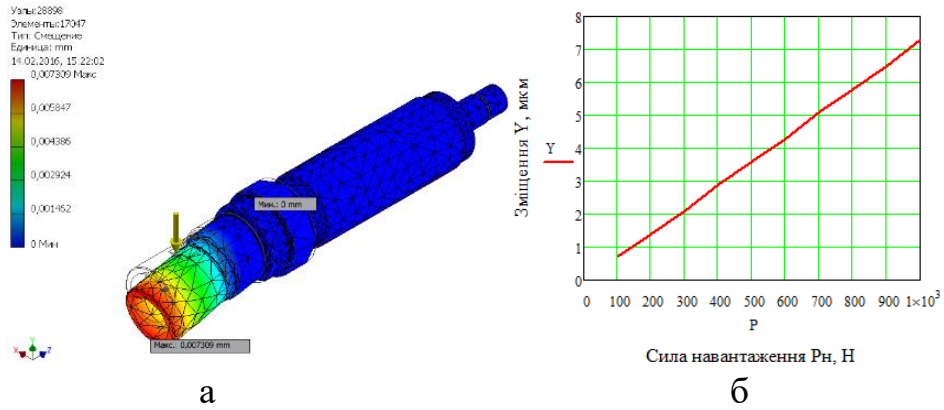


Рис. 10. Зміщення шпинделя: а – під дією сили 1000Н, б – графік залежності зміщення від сили навантаження на передній кінець шпинделя

Побудовано еквівалентну динамічну модель шпинделя (рис. 11) та отримано аналітичні залежності для розрахунку вібраційних характеристик та деформацій в системі:

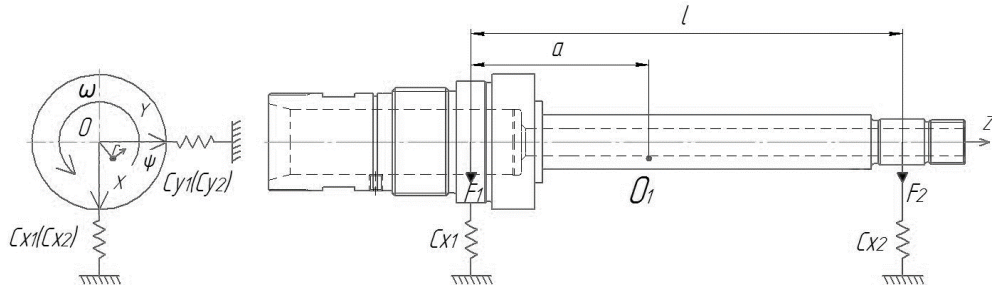


Рис. 11. Еквівалентна динамічна модель шпинделя

$$\ddot{\varepsilon}_{x_1} = \frac{1}{I_Y} \cdot (C_{X_1} \cdot \varepsilon_{x_1} \cdot l \cdot a - m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t \cdot (l - a) \cdot a) + \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t; \quad (15)$$

$$\ddot{\varepsilon}_{x_2} = \frac{1}{I_Y} \cdot (C_{X_2} \cdot \varepsilon_{x_2} \cdot l \cdot a - m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t \cdot (l - a) \cdot a) + \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t, \quad (16)$$

де I_Y – момент інерції шпинделя по осі Y; C_{X_1} та C_{X_2} – жорсткості опор в площині XZ; ε_{x_1} та ε_{x_2} – деформація в площині XZ; $a_{x_0} = \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t$ – прискорення викликане дією сил пружності підшипників в площині XZ; m – маса шпинделя; O_1 – центр мас шпинделя; a – відстань до центра мас; l – відстань між опорами; r – векторна величина зміщення центру мас шпинделя; ω – кутова швидкість; ψ – кут повороту шпинделя; t – час.

Для площини YZ отримано аналогічні залежності, тільки з змінними характерними для площини YZ:

$$\ddot{\varepsilon}_{y_1} = \frac{1}{I_X} \cdot (C_{Y_1} \cdot \varepsilon_{y_1} \cdot l \cdot a - m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t \cdot (l - a) \cdot a) + \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t; \quad (17)$$

$$\ddot{\varepsilon}_{y_2} = \frac{1}{I_X} \cdot (C_{Y_2} \cdot \varepsilon_{y_2} \cdot l \cdot a - m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t \cdot (l - a) \cdot a) + \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t, \quad (18)$$

де I_X – момент інерції шпинделя по осі X; C_{Y_1} та C_{Y_2} – жорсткості опор в площині YZ; ε_{y_1} та ε_{y_2} – деформація в площині YZ; $a_{y_0} = \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega \cdot t$ – прискорення викликане дією сил пружності підшипників в площині YZ.

На створеній експериментальній установці (рис. 12) було проведено експеримент для перевірки працездатності створеного високошвидкісного ШВ.

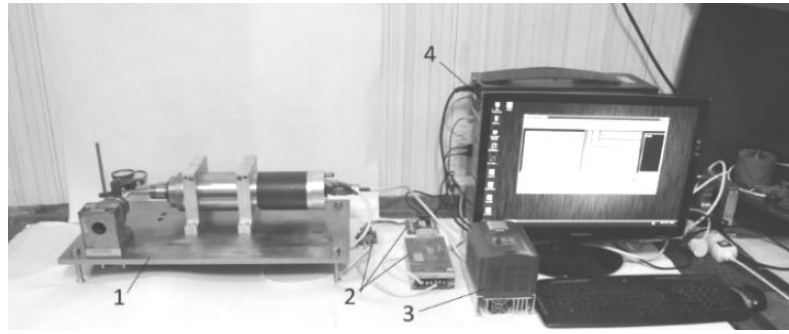
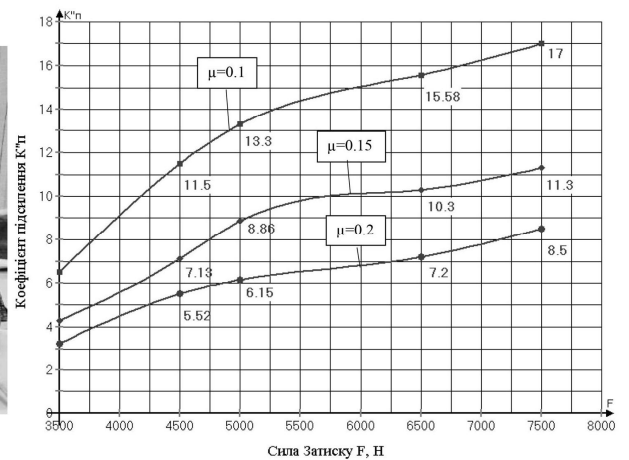
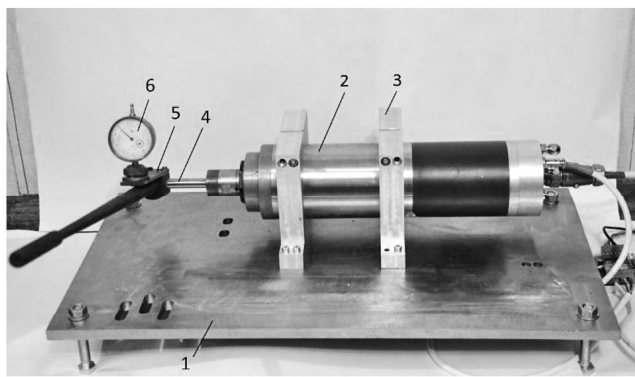


Рис. 12. Експериментальна установка: 1 – експериментальний стенд; 2 – система керування Пр3; 3 – інвертор для керування МШ; 4 – ПК з програмним забезпеченням для керування ЗМ

Експерименти проводилися для визначення силових та жорсткісних характеристик ЗМ (рис. 13, 14).

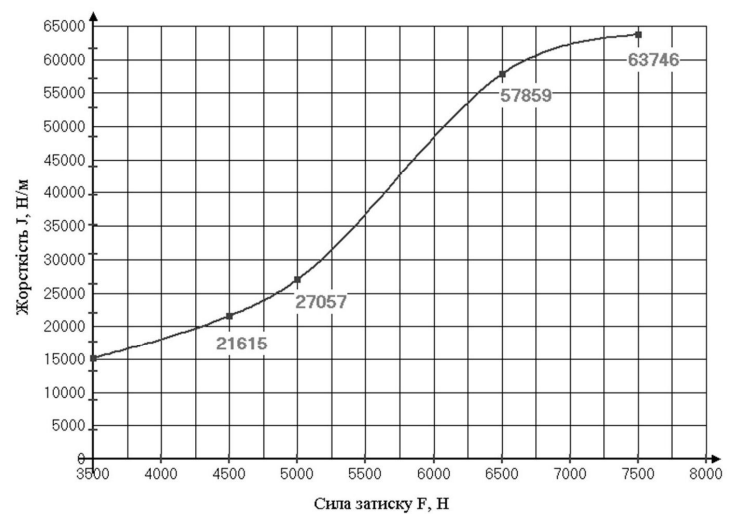
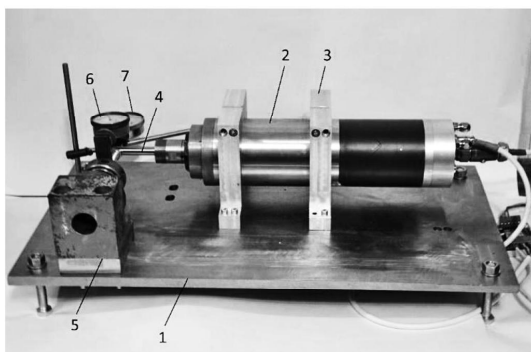


а

б

Рис. 13. Стенд для визначення моменту прокручування (а) та залежності коефіцієнта підсилення патрону (б) при різних коефіцієнтах тертя

Стенд складається з таких елементів: 1 – основа; 2 – ШВ; 3 – кронштейн; 4 – оправка; 5 – динамометрична рукоятка; 6 – індикатор годинникового типу.



а

б

Рис. 14. Стенд для визначення жорсткості (а) та графік залежності жорсткості від сили затиску (б)

Стенд складається з наступних елементів: 1 – основа; 2 – ШВ; 3 – кронштейн; 4 – оправка; 5 – навантажувальний пристрій; 6 – динамометр камертонного типу; 7 – індикатор годинникового типу для визначення пружних відтискань.

З експерименту видно, що коефіцієнт підсилення коливається в межах від 3 до 17, що є вищим ніж в досліджуваному раніше ІЗП в 2-3 рази. Жорсткість створеного ЗМ також є вища, але при близькій до максимальної сили і становить 63746 Н/мм. На рис. 15 представлені порівняльні графіки залежностей коефіцієнтів підсилення та жорсткості ЗМ створеного ШВ та ІЗП. За силовими і жорсткісними характеристиками синтезований ШВ з електромеханічним ПрЗ і цанговим затискним патроном має суттєві переваги в порівнянні з ІЗП.

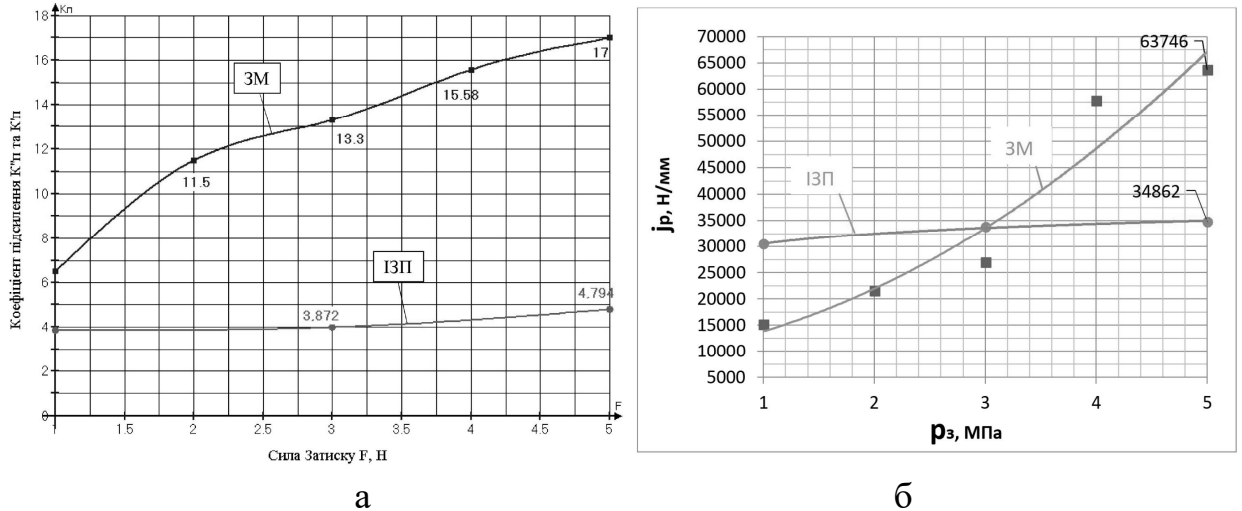


Рис. 15. Порівняння характеристик розробленого електромеханічного ЗМ та ІЗП: а – за коефіцієнтом підсилення; б – за жорсткістю

В четвертому розділі розроблено рекомендації і методику проектування високошвидкісних ШВ на модульному принципі з різними перетворювачами енергії. Також дано рекомендації щодо подальшого дослідження ШВ та їх удосконалення (рис. 16).

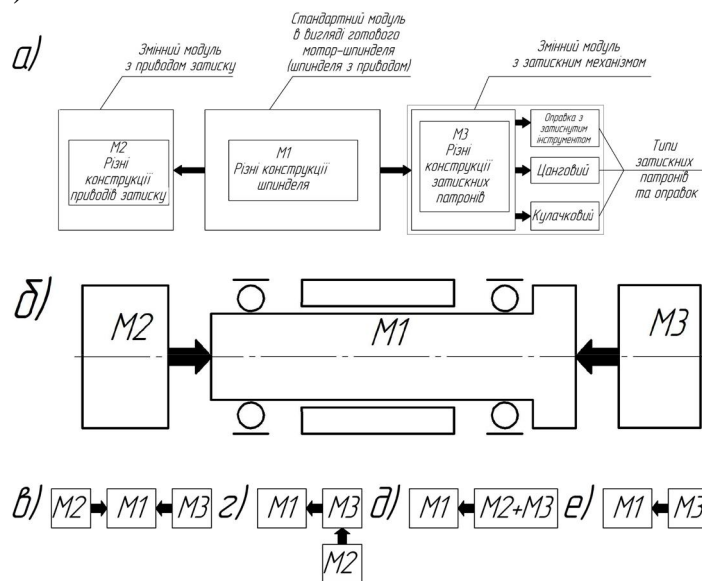


Рис. 16. Структура (а), схема (б) і варіанти реалізації (в-е) модульного принципу складання шпиндельних вузлів (б): М1 - модуль мотор-шпиндель, М2 – модуль приводу затяжки, М3-модуль затискного патрона (оправки)

Модульний принцип складання ШВ базується на використанні стандартного мотор-шпинделя, в якому заміні підлягають тільки окремі його вузли - змінні модулі, які є окремими складальними одиницями. Це можуть бути автоматизовані механізми затиску, гідравлічні системи, затискні механізми і самі шпинделі, а також окремі деталі цих модулів.

Також пропонується концепція Smart Spindle для подальшого розвитку ШВ шляхом встановлення на нього додаткових датчиків для контролю його параметрів в процесі роботи.

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертаційної роботи полягає в створенні на модульному принципі високошвидкісного шпиндельного вузла з електромеханічним ЗМ, теоретичному експериментальному підтвердженні його працездатності, який в порівнянні з гідромеханічним ЗМ має кращі показники (кращий коефіцієнт підсилення, низькі енерговитрати на затиск-розтиск, розширенні функціональні можливості щодо відхилення діаметра об'єкта, який затискається, автоматичне керування силою затиску).

1. Вперше спроектовано і виготовлено діючий макет високошвидкісного ШВ з самогальмуючим електромеханічним ЗМ на базі мотор-шпинделя на модульному принципі, експериментальні дослідження якого підтвердили теоретичні висновки і довели його працездатність і економічну доцільність.

2. Практично доведено, що використання додаткових модулів підвищує технічні характеристики ШВ: частота обертання збільшується з 3500 до 24000 об/хв; час затиску-розтиску зменшується до 0,03-0,1 с.

3. Встановлено вплив параметрів хвостовика інструменту на характеристики ІЗП, що дало змогу отримати максимально можливе відхилення від номінального діаметра хвостовика до 0,04 мм при забезпеченні максимальної сили затиску. Отримала подальший розвиток методика розрахунку силових характеристик та статичної жорсткості ІЗП з конусною втулкою, що моделює місце затиску.

4. Вперше отримані регресійні моделі, що дають змогу оцінити працездатність ІЗП в виробничих умовах, в залежності від факторів (матеріал, глибина різання, тиск затиску ІЗП), що впливають на його роботу та спрогнозувати їх вплив на критерії якості, в нашому випадку, шорсткість та точність обробки розміру поверхні при підстановці відповідних параметрів.

5. Теоретично та експериментально доведено, що створений ШВ з електромеханічним ЗМ має кращі показники в порівнянні з гідромеханічним ЗМ: коефіцієнт підсилення в 2-3 рази вищий, жорсткість при максимальному затиску більша, низькі енерговитрати на затиск-розтиск, розширенні функціональні можливості для використання хвостовиків інструментів з відхиленнями поза допустимими значеннями, автоматичне керування силою затиску.

6. Вперше розроблено динамічні моделі шпинделя даного типу, які дають можливість оцінити деформації, що виникають в системі. Теоретично доведено за допомогою системи автоматичного проектування, що створений ШВ відповідає вимогам міцності та вібробезпечності при навантаженнях від 100 до 1000Н.

7. Розроблені рекомендації для налаштування ІЗП в залежності від зміни параметрів хвостовика інструмента, які застосовуються для відсіювання інструментів з відхиленням діаметра хвостовика в певних рамках та передано їх на підприємство.

8. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено рекомендації для модульного принципу створення ШВ з використанням готових або модернізованих модулів, які значно підвищують техніко-економічні показники ШВ та сприяють їх проектуванню, удосконаленню, впровадженню, а також подальших досліджень. Розроблено методику та створено стенд для експериментальних досліджень характеристик гідромеханічних та механічних ЗМ в залежності від форми хвостовика інструментів. Створений дослідний стенд впроваджений в навчально-науковий процес для проведення лабораторних робіт.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кузнецов Ю. Н. Шпиндельные узлы с электромеханическим зажимом и текучей средой для станков нового поколения / Ю. Н. Кузнецов, Ж. А. Герра Хамуйела, В. А. Недобой, Б. И. Придальный // Вісник СевНТУ. – 2013. – №139. – С. 121–125. *Входить до міжнародних баз даних: РІНЦ, ВІНІТІ РАН. (Здобувачем було запропоновано нові схеми шпиндельних вузлів)*

2. Кузнецов Ю. Н. Экспериментальные исследования высокоскоростного инструментального зажимного патрона / Ю. Н. Кузнецов, В. А. Недобой, Ж. А. Герра Хамуйела // Вісник НТУ "ХПІ". – 2014. – № 60. – С. 117-124. *(Здобувачем було спроектовано та виготовлено стенд для експериментальних досліджень)*

3. Недобой В. А. Экспериментальные исследования влияния конструкции хвостовика инструмента на характеристики затискного патрона [Електронний ресурс] / В. А. Недобой, Ю. М. Кузнецов, Ж. А. Герра Хамуйела // №2. – 2014. – С. 8-12. – Режим доступу до ресурсу: nbuv.gov.ua/UJRN/VSU_tekh_2014_1_2_4. *Входить до міжнародних баз даних: ISSUU. (Здобувачем було спроектовано та виготовлено стенд для експериментальних досліджень з використанням оправок з відхиленнями від номінального діаметра та продовжено дослідження ІЗП)*

4. Kuznetsov Y. Use the modular principle in the assembly spindle of machines tools based on the motor-spindles / Y. Kuznetsov, V. Nedoboi, H. Hamuyela // Technologia i Automatyzacja Montażu – Technology and Assembly Automation. – 2014. – №2. – С. 13–17. *Входить до міжнародних баз даних: Index Copernicus. (Здобувачем було запропоновано схеми нових модулів для проектування шпиндельних вузлів)*

5. Недобой В. А. Шпиндельный узел с электромеханическим затискным механизмом / Вадим Анатолійович Недобой // Вісник НТУ "ХПІ". – 2015. – №49. – С. 99–103. *(Здобувачем було виготовлено діючий макет стенду високошвидкісного шпиндельного вузла з змінними модулями)*

6. Кузнецов Ю. М. Шпиндельные узлы с затискными механизмами для верстатів нового покоління / Ю. М. Кузнецов, Ж. А. Герра Хамуйела, В. А. Недобой // Актуальні задачі сучасних технологій : Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів., 19-20 грудня 2012 р.: тези доп. – Тернопіль, 2012. – С. 112 – 133. *(Здобувачем було запропоновано нові схеми шпиндельних вузлів)*

7. Кузнецов Ю. Н. Шпиндельные узлы с электромеханическим зажимом и текучей средой для станков нового поколения / Ю. Н. Кузнецов, Ж. А. Герра Хамуйела, В. А. Недобой, Б. И. Придальный // Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении “Механообработка. Севастополь – 2013” : Мат. междунар. науч.-техн. конф., 20-24 мая 2013 г.: тезисы докл. – Севастополь, 2013. – С. 24-25. *(Здобувачем було запропоновано нові схеми шпиндельних вузлів)*

8. Кузнецов Ю. Н. Расчет и экспериментальные исследования статистических характеристик высокоскоростного инструментального зажимного патрона / Ю. Н. Кузнецов, Ж. А. Герра Хамуйела, В. А. Недобой, В. Н. Волошин // UNITECH 2013 : Труды междунар. науч.-техн. конф., 20-23 ноября 2013 г.: тезисы докл. – Габрово, Болгария, 2013. – С. 51-62. *(Здобувачем було продовжено дослідження ІЗП на основі раніше зроблених розрахунків)*

9. Кузнецов Ю. Н. Экспериментальные исследования характеристик высокоскоростного инструментального зажимного патрона / Ю. Н. Кузнецов, В. А. Недобой // Машинобудування очима молодих : Міжнар. наук.-техн. конф., 30 жовтня – 1 листопада 2013 р. – Кременчук, 2013. – С. 17-19. *(Здобувачем було продовжено дослідження ІЗП на основі раніше зроблених розрахунків)*

10. Кузнецов Ю. Н. Производственные испытания гидромеханического инструментального зажимного патрона / Ю. Н. Кузнецов, Ж. А. Герра Хамуйела, В. А. Недобой // UNITECH 2014 : Труды междунар. науч.-техн. конф., 21-22 ноября 2014 г.: тезисы докл. – Габрово, Болгария, 2014. – С. 101-106. *(Здобувачем було розроблено методуку та проведено експеримент у виробничих умовах)*

11. Kuznetsov Y. Use the modular principle in the assembly spindle of machines tools based on the motor-spindles / Y. Kuznetsov, V. Nedoboi, H. Hamuyela // Technika i Technologia Montażu Maszyn – TTMM 2014 : VIII Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna., 27-30 maja 2014 r.: Materiały konferencyjne. - Rzeszów – Berezka, Polska, 2014. – P. 28. *(Здобувачем було запропоновано схеми нових модулів для проектування шпиндельних вузлів)*

12. Кузнецов Ю. М. Аналіз працездатності гідромеханічного затискного патрона з використанням багатофакторного планування експеримента / Ю. М. Кузнецов, В. А. Недобой // Промислова гідраліка і пневматика : Мат. конф., 15-17 жовтня 2015 р.: тези доп. – Суми, 2015. – С. 134. *(Здобувачем було запропоновано методуку перевірки працездатності ІЗП)*

13. Кузнецов Ю. М. Експериментальні дослідження впливу конструкції хвостовика інструменту на характеристики затискного патрона / Ю. М. Кузнецов, Ж. А. Герра Хамуйела, В. А. Недобой // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : XIV Всеукраїнська молодіжна наук.-техн. конф., 27-31 жовтня 2014 р.: тези доп. – Суми, 2014. – С. 18–19. *(Здобувачем було продовжено дослідження ІЗП)*

14. Недобой В. А. Модульний принцип складання шпиндельних вузлів / В. А. Недобой, В. А. Колотуха // Загальноуніверситетська наук.-техн. конф. молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки та 90 – річчю з дня народження Володимира Олександровича Федорця, 16 квітня 2015 р.: тези доп. – Київ, 2015. – С.

43–44. *(Здобувачем було продовжено розробки нових модулів для шпindelьних вузлів)*

15. Пат. №79495 Україна, МПК В23В 17/00, В23В 19/00. Шпindelьний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А.; заявник і власник НТУУ “КПІ”. – № 201211892; заявл. 15.10.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8.

16. Пат. №80481 Україна, МПК В23В 17/00, В23В 19/00. Шпindelьний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А.; заявник і власник Кузнецов Ю. М. – №201300339; заявл. 10.01.2013; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10.

17. Пат. №84924 Україна, МПК В23В 17/00, В23В 19/00. Шпindelьний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А.; заявник і власник НТУУ “КПІ”. – № 201303687; заявл. 26.03.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.

18. Пат. №91154 Україна, МПК В23В 17/00, В23В 19/00. Шпindelьний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А.; заявник і власник Кузнецов Ю. М. – № 201400002; заявл. 08.01.2014; опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12.

19. Пат. №91163 Україна, МПК В23В 17/00, В23В 19/00. Шпindelьний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А.; заявник і власник Кузнецов Ю. М. – № 201400133; заявл. 09.01.2014; опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12.

20. Пат. №98583 Україна, МПК В23В 17/00, В23В 19/00. Шпindelьний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А.; заявник і власник Кузнецов Ю. М. – № 201413885; заявл. 24.12.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8.

21. Пат. №98110 Україна, МПК В23В 31/26, В23В 31/00. Затискний патрон / Кузнецов Ю. М., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А., Брезіцький С. М.; заявник і власник Кузнецов Ю. М. – № 201413886; заявл. 24.12.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

АНОТАЦІЯ

Недобой В.А. Затискні механізми високошвидкісних шпindelьних вузлів на модульному принципі для фрезерних верстатів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2016.

Дисертація присвячена створенню та дослідженню високошвидкісного ШВ з електромеханічним ЗМ, а також порівнянню його параметрів з відомою конструкцією гідромеханічного ІЗП. ШВ створено на модульному принципі.

У дисертаційній роботі наведені теоретичні дослідження ІЗП спрямованні на удосконалення налаштування його на роботу в залежності від змін параметрів хвостовика інструмента.

Експериментально досліджено вплив конструкції хвостовика інструмента на характеристики ІЗП та якість оброблених деталей з використанням багатофакторного планування експерименту та регресивного аналізу отриманих результатів.

Вперше було експериментально доведено, що використання конструкції хвостовика інструмента з отвором знижує відцентрові сили.

Теоретично і експериментально доведено працездатність високошвидкісного ШВ з самогальмуючим електромеханічним ЗМ та встановлено, що в порівнянні з гідромеханічним ЗМ він має кращі показники в 1.5-3.5 разів.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено рекомендації щодо модульного принципу створення ШВ з використанням готових або модернізованих модулів, які значно підвищують техніко-економічні показники ШВ.

Ключові слова: шпиндельний вузол, затискним механізм, привод затиску, модульний принцип, інструментальний затискний патрон, мотор-шпиндель.

ABSTRACT

Nedoboi V. Clamping mechanisms of high-speed spindle units on modularity for milling machines. – Manuscript copyright.

Ph.D. thesis in Engineering Science with major in 05.03.01 – machining processes, machines and tools. – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2016.

The thesis is devoted to the creation and investigation of high-speed spindle unit with electromechanical clamping mechanism, and comparison of its parameters with known design of hydromechanical chuck. A spindle unit is created on modularity.

The theoretical framework for the study of hydromechanical chuck aimed at improving its setting to work, depending on changes in the parameters of the tool shank, is given in the thesis.

The influence of shank tool design on hydromechanical chuck characteristics and quality of the parts is experimentally examined using multi-factorial experimental design and regression analysis of the results obtained.

It is first experimentally proved that using the shank tool design with a hole reduces the centrifugal force.

The normal operation of a high-speed spindle unit with self-stopping electromechanical clamping mechanism is theoretically and experimentally proven and it is found to have better performance than that compared with hydromechanical chuck in 1.5-3.5 times.

Based on theoretical and experimental investigations, the recommendations on modularity of spindle unit creation using ready-assembled or upgraded modules are elaborated that significantly increase the technical and economic performance of spindle units.

Key words: spindle unit, clamping mechanism, drive clamp, modularity, hydromechanical chuck, motor spindle.

АННОТАЦИЯ

Недобой В.А. Зажимные механизмы высокоскоростных шпиндельных узлов на модульном принципе для фрезерных станков. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2016.

Диссертация посвящена созданию и исследованию высокоскоростного инструментального зажимного патрона (ИЗП) с электромеханическим приводом зажима (ПрЗ), а также сравнению его параметров с известной конструкцией гидромеханического ИЗП. Шпиндельный узел (ШУ) создан на модульном принципе.

В диссертационной работе приведены результаты теоретических исследований ИЗП, направленные на совершенствование настройки его на работу в зависимости от изменений параметров хвостовика инструмента.

Экспериментально исследовано влияние конструкции хвостовика инструмента на характеристики ИЗП и качество обработанных деталей. Проведены эксперименты по исследованию статических характеристик ИЗП и получены коэффициенты усиления патрона. Также с помощью многофакторного планирования эксперимента были проведены производственные испытания ИЗП и регрессивный анализ полученных результатов.

Был спроектирован на модульном принципе ШУ с самотормозящим электромеханическим приводом зажима и цанговым патроном, со сменными модулями, которые повышают технико-экономические показатели шпинделя.

Проведено теоретические исследования по статическим и динамическим характеристикам ШУ и построенные динамические модели шпинделя. Также были проведены исследования в системе автоматического проектирования, которые показали, что спроектированный ШУ удовлетворяет условиям прочности и его можно изготавливать.

Разработана методика и проведены эксперименты по исследованию статических характеристик созданного ШУ и зажимного механизма.

Теоретически и экспериментально доказана работоспособность созданного высокоскоростного ШУ с самотормозящим электромеханическим приводом зажима и цанговым патроном, установлено, что по сравнению с гидромеханическим ЗМ он имеет лучшие показатели в 1.5-3.5 раза.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по модульному принципу создания ШУ с использованием готовых или модернизированных модулей, которые значительно повышают технико-экономические показатели ШУ.

Предложена концепция Smart Spindle, которая базируется на установке в ШУ различного типа датчиков, которые связаны с системой управления станка и в нужный момент корректирует работу шпинделя и станка в целом.

Ключевые слова: шпиндельный узел, зажимной механизм, привод зажима, модульный принцип, инструментальный зажимной патрон, мотор-шпиндель.