

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора **Малащенко Володимира Олександровича** на дисертаційну роботу здобувача Віштак Інни Вікторівни «Покращення характеристик шпиндельного вузла за рахунок оптимізації геометричних параметрів пневматичної опори», що подана до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 - машинознавство

**Актуальність теми дисертації.** Актуальність теми дисертації підтверджується тим, що вимоги до надійності, точності просторового положення та плавності обертання високошвидкісних шпинделів спеціальних верстатів зростають. Виконанню цих вимог сприяє стан підшипників, які відносно швидко спрацьовуються та погіршують якість роботи всього верстату. Тому актуальним є процес розробки нових підшипників ковзання. Опори з газовим мащенням, не втрачаючи своїх експлуатаційних якостей, можуть працювати в широкому діапазоні температур та тисків. Більше того вони дозволяють досягти досить великих частот обертання та забезпечити незмінність просторового взаємного положення інструменту та заготовки. Внаслідок постійності сил тертя при відносному переміщенні елементів, що розділені мастильно газовим шаром, є можливість забезпечити плавний рух з мінімальною швидкістю ковзання. Розширенню області використання шпинделів на газових опорах перешкоджає обмежена жорсткість в радіальному та осьовому напрямках.

Саме тому виникає необхідність подальшого розвитку і вдосконалення існуючих конструкцій та методів проектування пневматичних підшипників (газових опор), які завдяки своїй високій ефективності та можливості змінювати робочі параметри можуть забезпечити кращі експлуатаційні характеристики без збільшення витрат на енергоспоживання.

Дисертація Віштак І. В. присвячена створенню пневматичної опори шпинделя з малими параметрами конструкції, що призначені для швидкісних верстатів підвищеної точності і має перспективу широкого застосування. Наведене у сукупності підтверджує актуальність теми роботи, а отримані результати

сприятимуть впровадженню у виробництво шпинделів з малими геометричними параметрами пневматичних опор.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в покращенні функціонування спеціальних верстатів застосуванням розроблених нових конструкцій шпинделів з оптимізованими геометричними параметрами пневматичних опор, для чого вперше розв'язані такі задачі:

- виконано порівняльний аналіз відомих типів опор для швидкісних шпинделів з метою вибору базової конструкції; проаналізовано відомі конструкції пневматичних опор шпинделів з метою обґрунтування найбільш ефективної за критеріями жорсткості та навантажувальної здатності;

- модернізовано пневматичну конічну опору шпинделя зі зміною конфігурації робочої поверхні нанесенням глухих поздовжніх канавок змінної глибини;

- розроблено математичну модель розподілу тиску газу в робочих зонах пневматичної конічної опори запропонованої конструкції з метою покращення механічного оброблення відносно малих деталей;

- досліджено вплив зміни параметрів поздовжніх канавок розробленої конструкції опори з газовим мащенням на характеристики шпинделя та обґрунтовано її раціональні геометричні чинники;

- запропоновано критерій оптимізації параметрів канавок і тиску газу пневматичної конічної опори та використано їх в розрахунках;

- розроблено інженерну методику проектного розрахунку параметрів пневматичної конічної опори шпинделя з нанесеними на робочій поверхні глухими поздовжніми канавками змінної глибини.

Доцільно наголосити, що наукова новизна отриманих результатів підтверджується тим, що перераховані задачі розв'язані для нових модернізованих шпинделів на конічних пневматичних опорах з канавками змінної глибини.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблено пневматичну конічну опору з поздовжніми канавками змінної глибини, що підвищує радіальну та осьову жорсткості шпинделя, а також збільшує навантажувальну його здатність без додаткових витрат газу. Доведено експериментально і апробовано в промислових умовах доцільність використання пневматичної конічної опори з поздовжніми

канавками змінної глибини. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблено інженерну методику визначення основних параметрів пневматичних конічних опор з поздовжніми канавками змінної глибини за критеріями жорсткості в осьовому та радіальному напрямках та за витратою газу.

Розроблені конструкції пневматичних конічних опор і результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень, що висвітлено в дисертаційній роботі, впроваджено у виробництво в ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» для модернізації шпинделів на пневматичних опорах свердлильних верстатів, які дозволяють виконувати свердління отворів діаметром до 3 мм на частоті обертання до 15 тис. об/хв, а також у навчальний процес Вінницького національного технічного університету, що підтверджено відповідними актами.

#### **Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність результатів.**

Наукові положення, висновки за результатами проведеного дослідження та рекомендації щодо застосування і практичного використання достатньо обґрунтовані і їх достовірність підтверджена з прийнятною точністю проведеними натурними експериментами та широкою апробацією в опублікованих наукових працях і доповідях на конференціях.

**Обсяг та структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 170 сторінок. Основний зміст викладено на 128 сторінках друкованого тексту, ілюструється 56 рисунками та 4 таблицями. Додатки містять 24 сторінки. Список використаних джерел – 148 найменувань.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень, окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено інформацію про апробацію результатів теоретичних і експериментальних досліджень та публікації, що включають в себе основні положення роботи.

**У першому розділі** за результатами проведеного порівняльного аналізу літературних джерел стосовно сучасних типів підшипників шпинделів виявлені основні переваги і недоліки та встановлено, що найбільш раціональними для високих швидкостей є газові їх опори. Обґрунтовано раціональне та доцільне

використання шпинделів на конічних газових опорах, що уможлиблює переважне їхнє застосування. Проаналізувавши сучасний стан та тенденцію розвитку газових опор, автором сформульовано мету та завдання дослідження.

**Другий розділ** дисертації присвячений дослідженню тиску газу між двома конічними поверхнями різного профілю, закономірність зміни якого в тонкому шарі описано диференціальним рівнянням в часткових похідних. При цьому вважається, що тиск газу в межах однієї канавки є величиною сталою. Кінцевою метою розрахунків є визначення рушійної сили шару газу та його тиску у різних напрямках для покращення стійкості робочого органу.

Тут найважливішими результатами можна назвати такі:

- математично описано зміну тиску газу в тонкому ізотермічному шарі між двома конічними поверхнями з канавками змінної глибини рівнянням в частинних похідних другого порядку, розв'язок якого уможливив вибір раціональних параметрів;

- запропоновано два види профілю канавок змінної глибини та виведено їхні математичні формули з врахуванням напрямку нахилу канавок від їх середини.

- математично описано кінематику конічної опори з поздовжніми канавками на робочій поверхні змінного профілю для довільних значень радіального зміщення та кутового перекошу вала;

Отримані математичні залежності можуть бути рекомендовані для практичної реалізації під час розробки методики розрахунку нових конструкцій шпинделів на конічних пневматичних опорах та оцінювання їх ефективності.

**У третьому розділі** досліджено вплив конструктивних параметрів на основні чинники шпинделів: жорсткість системи, стійкість обертання та витрати робочого газу.

Проведений аналіз впливу напрямку зміни глибини профілю нанесених канавок на коефіцієнти жорсткості конічних опор шпинделя.

Аналітично доведено, що зміною глибини канавок, їх розміщенням по відношенню до напрямку течії газу, можна істотно покращити експлуатаційні характеристики спеціальних опор шпинделів для свердління отворів, діаметри яких менші 3-х мм.

Важливим є також доведення умов виникнення зони статичної нестійкості конічні опори. Це може відбуватися тоді, коли конічні опори з мінімальною глибиною канавки розміщуються на лінії течії газу, що уможливорює відійти від неприпустимих режимів роботи.

З врахуванням отриманих результатів встановлено, що конічні опори шпинделів з профілем канавок, які зменшуються в напрямку течії газу, є більш доцільними для використання та подальшого дослідження.

**Четвертий розділ** присвячений експериментальним дослідженням розробленого та виготовленого шпинделя на конічних газових опорах. Тут сформульовано основні задачі досліджень, які включають визначення: раціональної кількості поздовжніх канавок (до 18); діапазону постійності жорсткості шпинделя з канавками змінної глибини; витрат стиснутого газу в конічній опорі тощо.

З наведених у дисертації результатів видно, що поставлені завдання повністю виконано та експериментально доведено ефективність нових опор шпинделя з канавками змінної глибини і адекватність математичного забезпечення для аналітичного опису геометричних, кінематичних та газових чинників.

**У п'ятому розділі** викладено методику інженерного розрахунку конструктивних параметрів шпинделя на конічних газових опорах. Тут основну увагу приділено умовам досягнення максимально можливої жорсткості шпинделя. Доведено, що це можливо забезпечити газо статичними опорами з канавками змінної глибини.

З економічної точки зору мінімальні затрати на експлуатацію шпинделя на газових опорах залежать від витрат стисненого газу для його живлення. Тому запропоновано враховувати витрати газу в критеріях оптимізації.

Запропонована методика інженерних розрахунків дозволяє врахувати критерії оптимальності під час проектування шпинделів на одній конічній опорі та визначати робочі параметри цієї складальної одиниці.

Розроблена інженерна методика дозволяє науково обґрунтовано визначати раціональні параметри конічних газових опор шпинделя з канавками змінної глибини.

**Загальні висновки і рекомендації**, які містяться в дисертації та авторефераті, відображають результати проведеного дослідження, є конкретними і корисними для

практичних розрахунків і проектування високошвидкісних шпинделів на конічних газових опорах.

**Ступінь апробації** результатів дисертаційного дослідження підтверджується опублікуванням 13 друкованих праць, в тому числі 1 монографія, 6 статей у фахових виданнях України, 1 стаття в періодичному науковому закордонному виданні, 5 тез доповідей у збірниках праць науково-технічних конференцій різного рівня.

Оцінюючи дисертаційну роботу Віштак І. В. в цілому, вважаю, що вона має цілісний і завершений характер, розв'язує важливу науково-прикладну задачу, пов'язану з потребою вдосконалення та покращення характеристик високошвидкісних шпинделів. Є також підстави вважати, що дисертація виконана автором самостійно і на високому науковому рівні.

**Автореферат дисертації** у стислій формі відображає основні положення виконаної роботи і дає достатню уяву про ступінь новизни та практичне значення отриманих результатів.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. Метою досліджень є підвищення жорсткості та навантажувальної здатності пневматичної конічної опори, але автором більше уваги приділено жорсткості, а навантажувальну здатність досліджено не достатньо повно.

2. У вибраному автором об'єкті досліджень доцільно було б вказати, про які процеси в пневматичних опорах шпинделів ідеться?

3. Зі змісту роботи зрозуміло, що певна увага в дисертації приділена процесам, які пов'язані з протіканням газів в канавках змінної величини з метою вибору кращих геометричних параметрів шпинделів, але їх міцність, довговічність практично не досліджено, у той час як на відносно малі розміри діють сили: радіальна -440 Н і осьова – 1400 Н.

4. У першому розділі дисертаційної роботи доцільно більше уваги приділити літературним джерелам стосовно досвіду використання газових опор для обробки надтвердих матеріалів природного, штучного походження та результатам праць провідних науковців з машинознавства.

5. У роботі основна увага приділена використанню для мащення опори та створенню підйомної сили очищеного повітря. Але не розглянуто, чи можливе



та як вплине використання інших газів на характеристики шпинделя?

6. Якщо автором розроблено нові газові опори, то не зрозуміло, чому вони не запатентовані?

7. Використання в роботі переважно безрозмірних величин полегшує аналіз впливу різних факторів, але це одночасно утруднює їх практичне використання.

8. Автор часто використовує поняття „оптимальні параметри”, тому в роботі доцільно було б повніше описати цільову функцію та критерії оптимізації.

9. У роботі зустрічається громіздкі аналітичні вирази з неповними поясненнями їх величин, не зовсім вдалі речення та терміни, що не відповідають ДСТУ.

Зазначені зауваження не мають вирішального значення і не зменшують наукового рівня виконаного дослідження та практичної цінності отриманих результатів. Вони здебільшого мають рекомендаційний характер і направлені на доповнення змісту дисертації та її покращення.

#### **Загальний висновок**

Дисертація Віштак І. В. є завершеною науковою працею, в якій розв’язана важлива науково-прикладна задача з покращення ефективності роботи пневматичної конічної опори шпинделя без збільшення енергетичних витрат за рахунок зміни конфігурації її робочих поверхонь.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.02 – машинознавство.

Дисертаційна робота „Покращення характеристик шпиндельного вузла за рахунок оптимізації геометричних параметрів пневматичної опори” виконана на належному науковому рівні, відповідає сучасним вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор, Віштак Інна Вікторівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство.

Офіційний опонент, доктор технічних наук, професор кафедри деталей машин  
Національного університету  
„Львівська політехніка”

Підпис проф. Малащенко В.О. засвідчую:  
Вчений секретар



  
В.О. Малащенко

  
Р.Б. Брилинський