

## **МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХОНЬ ГАЗОВИХ ПІДШИПНИКІВ**

Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*Розглянуто вплив конструктивних змін на експлуатаційні характеристики газостатичних опор високошвидкісних шпиндельних вузлів. Досліджено газостатичні підшипники із канавками змінної глибини, що дозволяють підвищити радіальну жорсткість на 36–40%. Описано переваги таких підшипників, зокрема їх здатність забезпечувати стабільну траєкторію руху валу, знижений рівень шуму та вібрацій, а також практично відсутність зносу. Визначено, що для досягнення високої точності та довговічності необхідна оптимізація конструкції опорних вузлів, включаючи якість поверхонь газових підшипників.*

**Ключові слова:** газові підшипники, експлуатаційні характеристики, конструктивні зміни.

### **Abstract**

*The influence of design changes on the performance characteristics of gas-static bearings of high-speed spindle units is considered. Gas-static bearings with variable-depth grooves, which allow increasing the radial rigidity by 36–40%, are investigated. The advantages of such bearings are described, in particular, their ability to provide a stable shaft trajectory, reduced noise and vibration levels, and virtually no wear. It is established that in order to achieve high accuracy and durability, it is necessary to optimize the design of the support units, including the quality of the gas bearing surfaces.*

**Keywords:** gas bearings, performance characteristics, design changes.

### **Вступ**

Високошвидкісна механічна обробка є одним із провідних напрямів у сучасному виробництві, адже її впровадження дозволяє значно підвищити продуктивність праці та забезпечити високу якість і точність обробки. Основним елементом, що впливає на ефективність роботи верстатів, є опорні системи шпиндельних вузлів, зокрема підшипники, у тому числі газостатичні. Основною перевагою газостатичних підшипників є їх здатність забезпечувати стабільну траєкторію руху валу без впливу теплових зміщень, що характерно для підшипників кочення. Завдяки роботі поверхонь на газовій змазці, такі підшипники демонструють високу надійність у широкому діапазоні температур і вологості, не спричиняють забруднення навколишнього середовища, а також значно знижують рівень шуму та вібрацій. Практично відсутність зносу поверхонь газових підшипників дозволяє зберігати високу точність обертання шпинделя протягом усього терміну експлуатації обладнання [1].

Метою роботи є визначення методу покращення експлуатаційних характеристик поверхонь газових підшипників.

### **Результати дослідження**

Дослідження підтверджують, що газостатичні підшипники з канавками змінної глибини на поверхні валу забезпечують покращені експлуатаційні характеристики. Найбільш поширеними є радіальні та осьові підшипники, які зазвичай функціонують окремо. Оскільки більшість роторів піддається комбінованим радіальним і осьовим навантаженням, необхідно застосовувати додаткові одно- або двосторонні упорні елементи, такі як підп'ятники або автомати осьового навантаження. Одним із перспективних рішень стало поєднання опорного та упорного підшипників, що привело до розробки конічних газостатичних підшипників. Їх основна перевага полягає в здатності одночасно сприймати радіальні та осьові навантаження. Збільшення кута контакту сприяє підвищенню осьової жорсткості та здатності витримувати осьові зусилля, що позитивно впливає на точність обертання валу і, відповідно, на якість обробки поверхонь заготовки [2-5].

На етапі проектування особливу увагу слід приділяти розробці вузлів та газових підшипників, які забезпечуватимуть стабільну точність протягом усього періоду експлуатації. Дослідження [6] свідчать, що точність обробки деталей залежить на 80% від параметрів шпиндельного вузла. Оскільки рух, який формує поверхню деталі, залежить від роботи шпинделя та його опор, саме газові підшипники відіграють ключову роль у досягненні високих експлуатаційних характеристик металорізальних верстатів.

Застосування гідростатичних опор у конструкціях високошвидкісних шпиндельних вузлів обмежує їх швидкохідність через втрати на тертя і складність конструкції опорного вузла. Шпинделі на електромагнітних опорах поки що не отримали широкого поширення через високу вартість і складність конструкції, а також необхідність використання складних електронних систем керування. Водночас шпиндельні вузли з конічними газостатичними опорами мають значні переваги у дрібносерійному та серійному виробництві порівняно з вузлами на опорах кочення. Серед їхніх переваг: тривалий термін експлуатації без втрати якості обробки поверхні, підвищена якість шліфованої поверхні завдяки меншій чутливості до дисбалансу, відсутність необхідності прогрівання перед роботою, суттєве зниження рівня вібрацій (у 4–5 разів) та мінімальний знос ріжучого інструменту [7].

Газостатичні опори мають певні обмеження, зокрема невисоку жорсткість, обмежену несучу здатність і недостатню демпфуючу ефективність мастильного шару. Через ці характеристики вони переважно використовуються у шпиндельних вузлах з невеликими навантаженнями..

### Висновки

Підвищити експлуатаційні показники високошвидкісних шпиндельних вузлів з газостатичними опорами можна за рахунок конструктивних удосконалень, таких як створення канавок змінної глибини на валу опори. Дослідження показали, що такі модифікації дозволяють збільшити радіальну жорсткість опор на 36–40% у порівнянні з опорами, оснащеними канавками сталої глибини [1,4,6]. Встановлено, що покращення експлуатаційних характеристик газових підшипників можливо шляхом конструктивних змін, у тому числі і якості поверхні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савуляк В. І., Федотова І. В. Статичні характеристики пневматичного конічного підвісу шпиндельного вузла з канавками змінної глибини. Вісник НТУУ «КПІ» Серія машинобудування. 2012. №64. С. 162–167.
2. Andrzej Dzierwa, Angelos P. Markopoulos. Influence of ball-burnishing process on surface topography parameters and tribological properties of hardened steel. Machines. 2019, № 7, p. 11; doi:10.3390/machines7010011.
3. Applied Design of Experiments and Taguchi Methods - Kindle edition by Krishnaiah, K., Shahabudeen, P. PHI Learning Private Limited. New Delhi. 2012. P. 362. ISBN-978-81-203- 4527-0.
4. Vishtak I, Petrov O, Savulyak V, et al. Influence of the profile of longitudinal grooves of depths on increasing static characteristics of radial gas bearings. Advanced Materials & Demanding Applications. Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. P.1-7.
5. Дзюра В.О. Визначення площі канавок трикутної форми частково регулярного мікрорельєфу, сформованого на торцевих поверхнях тіл обертання. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2020. № 2. С. 62-67. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu\\_tekh\\_2020\\_2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2020_2_10). DOI 10.31891/2307-5732-2020-283-2-62-67
6. Vishtak I. V., Savulyak V. I. Comparative characteristics and selection of speed bearings. UJMEMS. 2023, Volume 9, Number 2. P. 12-25. ISSN 2411-8001
7. Gad AM and Kaneko S. A new structural stiffness model for bump-type foil bearings: Application to generation II gas lubricated foil thrust bearing. J Tribol. 2014. №136. P. 041701

**Кудратов Максат Мелікович** – аспірант 2 року навчання кафедри технологій автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: maksudr337@gmail.com

Науковий керівник: **Віштак Інна Вікторівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [vishtakiv@vntu.edu.ua](mailto:vishtakiv@vntu.edu.ua)

**Maksat Kudratov** - postgraduate 2 year of study of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [makskudr337@gmail.com](mailto:makskudr337@gmail.com)

Supervisor: **Vishtak Inna. V.** – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department Safety of Life and Pedagogical Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [vishtakiv@vntu.edu.ua](mailto:vishtakiv@vntu.edu.ua)