



не використовуються через складність та вагу конструкції, зменшення надійності двигуна та погіршення показників шуму.

Стрімкий розвиток технологій у сфері електротехніки відкриває нові можливості для підвищення ефективності авіаційних силових установок. У цьому контексті дедалі більшої актуальності набуває ідея гібридизації газотурбінних двигунів, яка поєднує переваги традиційної тяги з електричними компонентами для зниження витрат пального.

Враховуючі те, що вищеописані методи покращення економічності газотурбінних двигунів на даний момент вже досягли високого рівня розвитку, плануємо в подальших наукових роботах досліджувати можливість використання останніх відкриттів науки в електротехніці для досягнення кращих показників економічності двоконтурних двигунів на дросельних режимах польоту.

Отже, підвищення економічності двоконтурних газотурбінних двигунів на дросельних режимах залишається важливим і складним завданням. Існуючі рішення, такі як FADEC, регульовані направляючі апарати та змінна геометрія сопла, вже забезпечили суттєвий прогрес. Проте їхній подальший розвиток обмежений конструктивною складністю та вимогами надійності. Нові перспективи відкриває гібридизація двигунів із застосуванням електротехнічних технологій. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію цих рішень для досягнення ще вищої ефективності на дросельних режимах.

Перелік посилань

1. Synthesis of a gas turbine engine control system based on fuzzy logic [Text] / O. V. Kuchmustenko, M. V. Shavranskyi, B. S. Nezamay, O. G. Malko / Methods and devices of quality control. - 2021. - Vol 1. - № 46. - P. 53–62.
2. Scientometric analysis and critical review of gas turbine aero-engines control: From Whittle engine to more-electric propulsion [Text] / S. J. Mohammadi, S. A. Miran Fashandi, S. Jafari, T. A Nikolaidis / Measurement and control. - 2021. - Vol 54. - № 5-6. - P. 935–966.
3. Profitability of the gas-turbine engine with two-row blade wreaths in the axial compressor [Text] / П. І. Греков, Л. Г. Волянська, К. Хагані, В. Є. Алпатов / Proceedings of National Aviation University. - 2005. - Vol 26. - № 4. - P. 51–54.

ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІДШИПНИКІВ ШЛЯХОМ ЗАМІНИ ТІЛ КОЧЕННЯ НА КЕРАМІЧНІ

А. О. Рак, О. М. Гнисько

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Підвищення ефективності роботи турбомашин неможливе без удосконалення їх підшипникових вузлів. Оскільки сучасні турбоагрегати працюють на підвищених обертах і в умовах значного теплового та механічного навантаження, звичайні сталеві кулькові елементи підшипників досягають своїх меж. Одним з ефективних способів вирішення цієї проблеми є використання керамічних тіл кочення.



Керамічні матеріали, зокрема нітрид кремнію (Si_3N_4) та карбід кремнію (SiC), мають низку властивостей, що забезпечують кращу продуктивність порівняно зі сталевими аналогами. Серед ключових переваг варто виділити значно меншу густину (приблизно на 40–60% нижча за сталь), що суттєво зменшує відцентрові сили при обертанні (табл. 1). Це дозволяє підшипникам витримувати вищі швидкості обертання без ризику руйнування.

Таблиця 1 – Порівняння властивостей тіл кочення зі сталі та кераміки

Характеристика	Сталь (100Cr6)	Кераміка (Si_3N_4)
Густина, г/см ³	~7,8	~3,2
Твердість, HV	~700	~1500
Гранична швидкість обертання, об/хв	до 30 000	до 60 000+
Коефіцієнт тертя	~0,10–0,15	~0,05–0,08
Теплопровідність, Вт/(м·К)	~46	~20

Крім того, керамічні кульки володіють високою твердістю, термостійкістю та стійкістю до корозії. Вони демонструють низький коефіцієнт тертя, що сприяє зниженню нагріву та втрат на тертя, особливо в умовах граничного або сухого змащення. У реальних умовах експлуатації це дозволяє забезпечити більш стабільну роботу агрегатів та зменшити знос контактних поверхонь.

Практика провідних виробників (SKF, NSK, GMN) засвідчує, що підшипники з керамічними кульками не лише витримують вищі оберти, а й мають подовжений термін служби. Зокрема, в авіаційних турбінах їхній ресурс збільшується у 2–3 рази залежно від умов роботи. До того ж знижується потреба у частому технічному обслуговуванні, що є критично важливим у відповідальних системах. З точки зору теплових характеристик, керамічні кульки мають нижчу теплопровідність, що дозволяє зменшити перегрів у вузлах та покращити ефективність змащення. Окрім цього, вони є діелектриками, що робить їх незамінними у високочастотному електрообладнанні, де виникає ризик електричного пробоя. У ряді публікацій доведено, що зменшення маси тіл кочення прямо пропорційно впливає на зниження відцентрових сил та вібрацій у підшипнику [1, 2]. Це дозволяє забезпечити стабільнішу роботу роторних систем на високих обертах. Твердість і зносостійкість керамічних кульок суттєво знижує втрати на тертя та продовжує строк служби підшипника. Окрім того, висока термостійкість матеріалів, таких як нітрид кремнію, дозволяє використовувати такі підшипники в умовах підвищеної температури без втрати експлуатаційних характеристик.

Швидкісні характеристики підшипникових вузлів відіграють важливу роль у таких сферах, як авіаційне двигунобудування, енергетика, газотурбінні установки, високошвидкісні електродвигуни та прецизійне обладнання. Застосування гібридних підшипників, у яких зовнішнє та внутрішнє кільця виконано зі сталі, а тіла кочення – з кераміки, дозволяє досягти обертів понад 50 000 об/хв без виникнення резонансних коливань (рис. 1).

Водночас використання керамічних тіл кочення супроводжується певними викликами: вища вартість матеріалів, складніша технологія обробки та потреба у точному балансуванні. Однак довгострокові переваги — зменшення

зношування, підвищення швидкості, зниження споживання енергії — значною мірою компенсують ці недоліки.

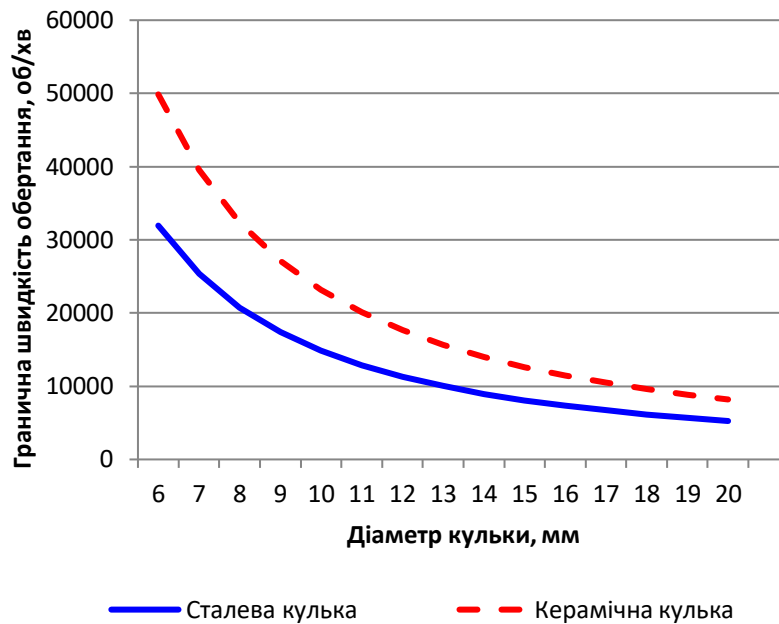


Рис. 1 – Залежність швидкості обертання від діаметру кульки

Перелік посилань

- 1 Bhushan, B. Introduction to Tribology [Text] / B. Bhushan // Wiley. - 2013. – 701 p.
- 2 Zhang, Z. Design and analysis of hybrid ceramic bearings for high-speed machinery [Text] / Z. Zhang, Q. Wang, Z. Wang // Tribology International. - 2022. – Vol. 174. - P. 107735.

ОСОБЛИВОСТІ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Є. В. Торохтій

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали незамінним інструментом у сучасному світі, активно застосовуючись у військовій, цивільній та комерційній сферах. Їх універсальність пояснюється компактними розмірами, можливістю виконувати завдання у важкодоступних регіонах і великим вибором силових установок, які забезпечують ефективність, надійність та адаптивність апаратів. Особливе значення БПЛА набули у військових конфліктах, таких як війна Росії проти України, де вони сприяли значному підвищенню точності та ефективності бойових операцій, виконуючи розвідувальні місії, коригування артилерії і точкові удари.

Класифікація та переваги силових установок

Тип силової установки визначає ключові параметри польоту, такі як автономність, маневреність, енергоефективність і висота. Залежно від завдань і характеристик БПЛА використовуються: