УДК 629.73.054.42:621.317.7

К. С. Кожушко, Р. В. Древенчук

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОЇ АПАРАТУРИ ВИМІРЮВАННЯ ОБЕРТІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ, ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ГОЛОВНИХ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ

Анотація: *З метою забезпечення високої надійності, безпеки польотів та безаварійної роботи силових установок повітряних суден (ПС) державної авіації України постає потреба у розробці корисних рекомендацій щодо вибору засобів контролю динамічних параметрів обертання роторів авіаційних двигунів у найкоротший термін.*

В основу продовження тривалості роботи силових установок та трансмісій ПС, а особливо при веденні бойових дій для якісного моніторингу частоти обертання валів авіадвигунів, пропонується застосування сучасних безконтактних засобів тахометрії. Проведено аналіз систем вимірювання, що мають значні переваги завдяки високій стійкості до екстремальних вібрацій, високих температур і механічних навантажень, а також забезпечення точності в умовах швидкої зміни режимів роботи двигуна.

Ключові слова: *повітряне судно, авіаційний двигун, тахометр, оптичний датчик, частота обертання.*

Annotation: *In order to ensure high reliability, flight safety, and trouble-free operation of power plants of the Ukrainian state aircraft, there is a need to develop useful recommendations for choosing tools to control the dynamic parameters of aircraft engine rotor rotation in the shortest possible time. To extend the service life of aircraft power plants and transmissions, especially during combat operations for high-quality monitoring of engine shaft rotation speed, it is proposed to use modern contactless tachometry tools. An analysis of measurement systems was conducted, which have significant advantages due to their high resistance to extreme vibrations, high temperatures, and mechanical stress, as well as ensuring accuracy under conditions of rapid engine operating mode changes.*

Keywords: *aircraft, aircraft engine, tachometer, optical sensor, rotation speed.*

Технічна експлуатація ПС повинна забезпечувати працездатність, справність і своєчасну бойову готовність літаків під час ведення бойових дій, що є найголовнішим аспектом в експлуатації авіаційної техніки. Під час експлуатації авіаційного обладнання (АО) при веденні бойових дій, на бортові системи контролю двигуна впливають різні фактори: надвисокі температури, інтенсивні вібрації газотурбінних двигунів (ГТД), вплив авіаційних мастил та спецрідин. Це все спостерігається, як при звичайній експлуатації повітряних суден, так і під час пошкоджень унаслідок впливу ударів від боєприпасів та уламків.

Визначення напрямків підвищення ефективності контролю параметрів силових установок для усунення або вчасного виявлення пошкоджень ПС під час ведення бойових дій є головною задачею керівного інженерно-технічного складу авіаційних частин.

В ході ведення бойових дій найчастіше пошкодження та критичні режими виявляються у силових установках, зокрема на роторах високого та низького тиску, валах редукторів гвинтів та турбостартерів. Для надійного моніторингу цих вузлів серед різноманітності вимірювальних матеріалів та систем, пропонується застосування безконтактної апаратури тахометрії, яка використовується для автоматизованого контролю авіаційних двигунів.

Апаратура контролю обертів була спроєктована для надійного зчитування частоти обертання без механічного контакту з валом, що забезпечує високу надійність та захист бортових електричних з'єднань. Завдяки спрощенню процесу зняття сигналу, сучасні датчики ідеально підходять для інтеграції в електронно-цифрові системи керування двигуном типу FADEC. Захисний клас IP67/IP69K гарантує збереження працездатності датчиків навіть при зануренні у гаряче авіаційне мастило. Використання магнітних та оптичних каналів забезпечує точність вимірювання без потреби фізичного зчеплення з обертовими деталями.

Варто зауважити, що вибір конкретного типу апаратури залежить від зони її встановлення на ПС. Для монтажу бортових датчиків потрібен лише спеціалізований інструмент та калібрувальні стенди, здатні перевірити систему у всьому діапазоні обертів авіадвигуна (до 50 000 об/хв і вище).

Основні етапи експлуатації та вибору апаратури вимірювання обертів включають три етапи технології використання:

1. Підготовка та огляд: проводиться перевірка зони встановлення датчика на наявність механічних тріщин, деформацій або зазору між датчиком та маркерним диском (ротором). Поверхня очищується від залишків нагару та мастила.
2. Вибір та тарування прила ду: вимірюється робочий діапазон обертів конкретного типу двигуна, враховуються граничні температурні умови в гарячій зоні ГТД для підбору відповідного датчика.
3. Установка та фіксація: датчик рівномірно розміщується у штатному гнізді із витримуванням критичного зазору, проводиться підключення до бортової кабельної мережі ПС та фіксація структури з'єднання.

В умовах бойових дій, для якісного контролю роботи двигунів ПС, доцільно використовувати найбільш стійкі типи датчиків. Щоб оцінити ефективність використання, необхідно детально розібрати компоненти апаратури та порівняти їх між собою за п’ятибальною системою.

1. Механічні (відцентрові) тахометри та тахогенератори. Використовують пряме зчеплення. Мають високі механічні навантаження, з часом зношуються через вібрацію двигуна, що спричиняє люфти. Кінцева оцінка: 3/5.
2. Бортові оптичні (лазерні) датчики. Базуються на фіксації відбитого світлового імпульсу. Робочим елементом є напівпровідникові лазерні діоди. Забезпечують надвисоку точність (до 0,05%), але лінзи швидко забруднюються авіаційним мастилом та кіптявою, що обмежує їх використання всередині двигуна. Кінцева оцінка: 4/5.
3. Магнітні датчики (на основі ефекту Холла та індукційні). Робочим елементом є напівпровідникові пластини зі сплавів олова, міді та індію, які реагують на зміну магнітного потоку. Вони залиті компаундом у герметичному сталевому корпусі. Ця апаратура починає деформуватися лише під впливом температур від 250°С, що забезпечує міцний інформаційний зв'язок навіть у екстремальних режимах роботи форсажних камер. Мають відмінну стійкість до вологи, вібрацій та агресивних середовищ. Кінцева оцінка: 5/5.

До основних переваг сучасних безконтактних авіаційних тахометрів відноситься висока стійкість до вібрацій, забезпечення герметичності та відсутність впливу на вал ротора. Усі ці переваги вимагають точного дотримання технології встановлення (витримування зазору) та вищих початкових витрат. Це робить їх ефективним вибором для важких умов роботи та довгострокових застосувань на ПС.

Таким чином, безконтактна апаратура вимірювання обертів є ефективним рішенням для контролю силових установок ПС. Їхнє застосування має потенціал суттєво покращити безпеку польотів та експлуатаційну надійність авіаційної техніки у найкоротший термін.

Список використаних джерел:

1. Орловський М. М. Технічне обслуговування повітряних суден і авіадвигунів : навч. посіб. Харків : Нац. аерокосміч. ун-т «ХАІ», 2020. 212 с.

2. Єгоров Ю. В. Авіаційні прилади та вимірювальні системи : конспект лекцій для авіаційних спеціальностей. Київ : КІВВС, 2021. 145 с.

3. Глюз С. С. Застосування вбудованої вимірювальної матриці для контролю частоти обертання роторів ГТД. *Збірник наукових праць УДФСУ*. 2023. С. 84–92.

4. Дранчук С. М., Машін В. М., Кочетков О. В., Цацко В. І. Пристрій для вимірювання частоти обертання двигуна у перехідних процесах. *Науковий вісник ОНМУ*. 2026. № 2 (71). С. 143–151.

Кожушко Крістіна Сергіївна *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: kristinakozusko138@gmail.com, ; ORCID:*

Древенчук Роман Васильович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: mailboy2009@gmail.com ; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8935-0923.*

Kozhushko Kristina Serhiivna – cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, *e-mail: kristinakozusko138@gmail.com, ; ORCID:*

Drevenchuk Roman Vasilyevich *– I. Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Senior Lecturer, Department No. 203, Kharkiv, Ukraine, e-mail: mailboy2009@gmail.com ; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8935-0923.*