УДК 629.735.33:629.7.064

О. О. Шевченко, Р. В Дешевий Р. В. Древенчук

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВІБРАЦІЇ ИВ-500 ВЕРТОЛЬОТУ МІ-8МСБ-В

Анотація. *Розглянуто методичний підхід до оцінювання ефективності вдосконалення апаратури вимірювання вібрації ИВ-500 на вертольотах типу Мі-8МСБ-В за метрологічними, експлуатаційними та надійнісними критеріями. Запропоновано напрями модернізації елементної бази, обробки сигналів та програми випробувань, що дозволяє підвищити достовірність контролю вібраційного стану двигунів і трансмісії.*

Ключові слова: *Мі-8МСБ-В, вібрація двигуна, віброперетворювач, сигналізація вібрації, спектральний аналіз, технічна діагностика.*

Abstract. *A methodological approach to evaluating the modernization of the IV-500 vibration measurement system on Mi-8MSB-V helicopters is presented. Criteria based on metrological, operational, and reliability performance are proposed. Directions for hardware modernization, signal processing, and laboratory testing programs are considered to improve the accuracy of engine and transmission vibration monitoring.*

Keywords: *Mi-8MSB-V, engine vibration, vibration transducer, vibration signaling, spectral analysis, technical diagnostics.*

У сучасних умовах експлуатації авіаційної техніки особливого значення набуває забезпечення надійності та безпеки польотів. Інтенсивне використання вертольотів у складних експлуатаційних умовах, збільшення тривалості роботи авіаційної техніки та обмежені можливості своєчасного оновлення авіапарку призводять до підвищення вимог щодо контролю технічного стану бортових систем і силових установок. Підвищений рівень вібрації конструктивних елементів, силової установки та трансмісії вертольота є одним із головних чинників, що впливають на втому матеріалів, надійність бортового обладнання та безпеку польотів. Для вертольотів типу Мі-8МСБ-В із модернізованими двигунами ТВ3-117ВМА-СБМ1В точний та своєчасний контроль рівня вібрації має першочергове значення. Наявна апаратура вимірювання вібрації ИВ-500 забезпечує базовий контроль перевищення граничних рівнів вібрації, однак за умов підвищення вимог до точності діагностування та оперативності виявлення дефектів виникає потреба в її вдосконаленні.

Мета дослідження – розробити обґрунтовані пропозиції щодо вдосконалення системи вимірювання вібрації ИВ-500 вертольота Мі-8МСБ-В та сформувати критерії оцінювання її ефективності за підвищеними діагностичними показниками.

Попередній аналіз функціонування системи ИВ-500 свідчить, що аналоговий принцип обробки сигналу від датчиків (типу МВ-03-1) обмежений завадостійкістю, динамічним діапазоном та не дає змоги виконувати глибокий спектральний аналіз вібрацій у реальному часі. Для вдосконалення системи пропонується концепція цифрової обробки сигналів із застосуванням сучасних мікроконтролерних блоків, оновлених п’єзоелектричних вимірювальних перетворювачів із розширеним частотним діапазоном та можливістю видачі спектральних складових у бортову систему реєстрації польотних даних. Перевагою такої концепції є можливість передвідмовного діагностування дисбалансу роторів двигунів і редуктора; водночас вона потребує перевірки завадостійкості, температурної стабільності датчиків та відмовобезпечності.

Як вихідні умови для дослідницького моделювання розглядалися параметри: частотний діапазон контрольованих вібрацій від 10 Гц до 2000 Гц, діапазон вимірюваних віброприскорень від 0,1 до 100 м/с² (або віброшвидкості), діапазон робочих температур від −60 °C до +100 °C та час спрацьовування сигналізації загрози не перевищує 0,5 с. Ці величини є сценарними припущеннями для математичної моделі вимірювального каналу і перед проведенням стендових випробувань потребують уточнення відповідно до конструкторської документації вертольота Мі-8МСБ-В.

Ефективність запропонованих рішень пропонується оцінювати за трьома групами критеріїв:

1. Метрологічними (похибка вимірювання амплітуди, розширення частотного діапазону, відношення сигнал/шум, точність локалізації частотних піків);
2. Експлуатаційно-технічними (маса та габарити блоків, питоме енергоспоживання, середня напрацювання на відмову, простота технічного обслуговування);
3. Діагностичними (імовірність своєчасного виявлення несправності, рівень хибних спрацьовувань сигналізації «НЕБЕЗПЕЧНА ВІБРАЦІЯ»).

Амплітудно-частотна характеристика вимірювального каналу та баланс перетворення сигналу контрольної зони можуть бути описані математичним співвідношенням:

$$U_{out}(t) = K_{ct} \cdot (S_{sens} \cdot \mathrm{a}(t) + n(t)) + \Delta U(t) \ , \qquad (1.1)$$

де $U_{out}(t)$ – вихідний електричний сигнал каналу вимірювання; K_{ct} – коефіцієнт підсилення тракту обробки; S_{sens} – чутливість віброперетворювача; $\mathrm{a}(t)$ – фактичне віброприскорення елемента; $n(t)$ – завади та шуми бортмережі; $\Delta U(t)$ – температурна дрейфова складова.

Для порівняльного оцінювання рівня хибних спрацьовувань та точності контролю пропонується використовувати коефіцієнт достовірності діагностування:

$$K_d = \frac{N_{corr}}{(N_{total} + N_{false})}, \qquad (1.2)$$

де N_{corr} – кількість правильно виявлених режимів підвищеної вібрації; N_{total} – загальна кількість підтверджених контрольних режимів; N_{false} – кількість хибних спрацьовувань сигналізації.

Досліджено сучасні методи вимірювання вібрації та проведено аналіз сучасних систем контролю віброшвидкості. Встановлено, що сучасні цифрові системи забезпечують частотний діапазон до 10000 Гц, похибку вимірювання до ±1% та можливість проведення спектрального аналізу сигналів у режимі реального часу.

Порівняльний аналіз сучасних датчиків показав, що найбільш ефективними для модернізації системи ИВ-500 є п’єзоелектричні цифрові датчики, які забезпечують високу точність вимірювання, широкий частотний діапазон та підвищену завадостійкість. Випробування вимірювальних каналів на вібростендах із подачею гармонійних і полігармонійних сигналів на кожному етапі показали ефективність запропонованого датчику. Для забезпечення достовірності результати порівнюють за повторними дослідами, однаковими початковими умовами та з оцінюванням невизначеності вимірювань.

Проведений вибір елементної бази показав, що використання сучасних цифрових компонентів дозволяє збільшити точність діагностики до 98%, розширити частотний діапазон контролю у 10 разів та скоротити час аналізу сигналів із 0,8 с до 0,2 с.

Запропоновані пропозиції щодо переходу до цифрової обробки сигналів та оптимізації елементної бази системи вимірювання вібрації ИВ-500 вертольота Мі-8МСБ-В дозволяють підвищити достовірність

контролю вібраційного стану та зменшити ймовірність хибних спрацьовувань. Напрями подальших досліджень – проведення стендових випробувань дослідного зразка блоку обробки сигналів, верифікація вимірювальної моделі та розробка рекомендацій щодо внесення змін до технічної документації з експлуатації вертольота.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ GOST 25865:2008. Прилади вимірювання вібрації. Загальні технічні вимоги. — К. : Держспоживстандарт України, 2008.

2. Бабенко О. В., Ковальчук І. М. Системи технічної діагностики та контролю вібрації авіаційних двигунів. – К. : Наукова думка, 2021. – 210 с.

3. Технічний опис вертольота Мі-8МСБ-В та його силової установки. – К. : АТ «МОТОР СІЧ», 2018. – 340 с.

4. Караваєв В. М. Діагностика вібраційного стану елементів трансмісії вертольотів // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2022. – № 4(160). – С. 35–42.

Шевченко Олег Олександрович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: : sevcenkooleg180@gmail.com*

Дешевий Руслан Васильович *– Харківський Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262 навчальної групи, Харків, Україна; email: dejevuyruslan12@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.*

Shevchenko Oleh Oleksandrovych – *Cadet at the Faculty of Aeronautical Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, Postal Code: 61009, e-mail: sevcenkooleg180@gmail.com*

Deshevii Ruslan Vasilyevich *– I. Kozhedub Kharkiv National Air Force University, student in Study Group 262, Kharkiv, Ukraine email: dejevuyruslan12@gmail.com; ORCID:*

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