УДК 629.7.05

І. В. Іваничко, Є. Я. Федоришин

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКІВ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА НА БАЗІ СУЧАСНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ТОЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПОСАДКОВОЇ ШВИДКОСТІ

Анотація. *Розглянуто шляхи підвищення точності визначення посадкової швидкості багатоцільового літака шляхом удосконалення системи вимірювання повного та статичного тисків. Проаналізовано основні джерела похибок у вимірювальному тракті, зокрема аеродинамічні похибки приймачів повітряного тиску, динамічне запізнювання в пневматичних магістралях і похибки первинних перетворювачів. Обґрунтовано перспективність застосування сучасних MEMS-сенсорів із цифровою обробкою сигналів, температурною компенсацією та вбудованою діагностикою. Запропоновано інтегральний підхід до модернізації, що передбачає вимірювання повного й статичного тисків компактним вимірювальним модулем, розміщеним якомога ближче до точок відбору тиску. Очікуваним результатом є зменшення впливу інерційності магістралей і підвищення достовірності аерометричної інформації. Остаточне підтвердження ефективності запропонованого рішення потребує стендових випробувань, калібрування та перевірки в умовах, визначених для конкретного типу повітряного судна.*

Ключові слова: *багатоцільовий літак, система повітряних сигналів, повний тиск, статичний тиск, посадкова швидкість, MEMS-сенсор, похибка вимірювання, цифрова обробка.*

Annotation*. The paper considers ways to improve landing-speed determination accuracy by upgrading the total- and static-pressure measurement system of a multirole aircraft. The main sources of measurement errors are reviewed, including aerodynamic errors of pressure probes, pneumatic-line response delay, and pressure-transducer errors. The use of modern MEMS sensors with digital signal processing, temperature compensation, and built-in diagnostics is substantiated as a promising approach. An integrated modernization concept is proposed in which a compact module measures total and static pressure and is installed as close as practicable to the pressure sampling points. The expected benefit is a reduction in pneumatic-line lag and an improvement in air-data reliability. The effectiveness of the proposed solution must be confirmed by bench testing, calibration, and verification under conditions applicable to the specific aircraft type.*

Keywords: *multirole aircraft, air data system, total pressure, static pressure, landing speed, MEMS sensor, measurement error, digital processing.*

Система вимірювання повного та статичного тисків є важливою складовою системи повітряних сигналів повітряного судна. За значеннями цих параметрів визначаються приладова швидкість, висота та інші аерометричні характеристики, які використовуються екіпажем і бортовими системами під час заходження на посадку. Принцип роботи системи ґрунтується на сприйнятті повного тиску приймачем повітряного тиску та статичного тиску відповідними отворами, після чого тиски передаються трубопроводами до вимірювальних приладів і датчиків [1; 2].

Точність визначення посадкової швидкості залежить не лише від характеристик датчика, а й від усього вимірювального тракту «приймач повітряного тиску — пневматична магістраль — перетворювач — блок обробки даних». До основних джерел похибок належать спотворення статичного тиску через особливості обтікання літака, вплив кутів атаки та ковзання, негерметичність або засмічення магістралей, накопичення вологи, а також нелінійність, гістерезис і температурний дрейф датчиків. Додатковим чинником є динамічне запізнювання тиску в трубопроводах, яке може погіршувати відповідність показів швидким змінам режиму польоту [1; 2].

У традиційних системах застосовуються електромеханічні та пневмомеханічні перетворювачі, зокрема індуктивні датчики, сигналізатори числа Маха й датчики диференціального тиску. Попри достатній досвід експлуатації, такі пристрої можуть мати рухомі механічні елементи, потребувати періодичного регулювання та мати обмежені можливості

вбудованої діагностики. Тому одним із напрямів модернізації є використання мікроелектромеханічних систем (MEMS), у яких чутливий елемент поєднаний з електронікою перетворення та обробки сигналу.

Прикладом сучасного перетворювача є Honeywell PPT2, який використовує кремнієвий п’єзорезистивний чутливий елемент і мікропроцесорну обробку сигналу. Виробник зазначає наявність температурної компенсації та аналогового виходу 0–5 В або цифрових інтерфейсів RS-232/RS-485; для окремих конфігурацій заявлена цифрова похибка до ±0,075 % від повної шкали [3]. Водночас наведені характеристики належать до конкретного виробу та не означають автоматичної придатності до встановлення на літак: перед використанням необхідно перевірити діапазон вимірювання, тип тиску, стійкість до вібрацій і середовища, електромагнітну сумісність, вимоги до живлення та авіаційну кваліфікацію.

Для підвищення точності доцільно розглядати інтегральний вимірювальний модуль, що забезпечує узгоджене вимірювання повного та статичного тисків, обчислення їх різниці та передавання даних у цифровому вигляді. Розміщення сенсорів поблизу точок відбору тиску дає змогу скоротити довжину пневматичних ліній і зменшити їхній внутрішній об’єм, а отже — знизити динамічне запізнювання. Вбудовані температурна компенсація, контроль достовірності даних і діагностичні ознаки можуть спростити виявлення несправностей. Для збереження надійності необхідно передбачити герметичні з’єднання, захист від вологи та обледеніння, електромагнітне екранування й резервування каналів.

Запропонований підхід не передбачає безпосередньої заміни штатних елементів без додаткового обґрунтування. Спершу потрібно визначити діапазони повного й статичного тисків, допустимі похибки та час відгуку, після чого виконати стендову перевірку сенсорів і вимірювального модуля. Окремо мають бути оцінені вплив монтажу на штатну пневматичну систему, точність у робочому температурному діапазоні, стійкість до вібрацій і завад, а також коректність обробки сигналів. Питання інтеграції в бортову систему передавання даних вирішується з урахуванням інтерфейсів і вимог конкретного типу літака.

Отже, удосконалення системи вимірювання тисків доцільно здійснювати комплексно: поєднувати сучасні MEMS-сенсори з оптимізацією пневматичних магістралей, цифровою обробкою, температурною компенсацією та діагностикою. Такий підхід має потенціал зменшити інструментальні й динамічні складові похибки та підвищити достовірність визначення посадкової швидкості. Практичне впровадження можливе лише після калібрування, наземних випробувань і підтвердження відповідності вимогам льотної придатності та експлуатаційній документації конкретного повітряного судна.

Список використаних джерел:

1. Аерометричні прилади та системи: навч. посіб. Зарубін А. М. Харків: ХНУПС, 2013. 156 с.

2. Federal Aviation Administration. Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge. Chapter 8: Flight Instruments [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak.

3. Honeywell Aerospace. Next Generation Precision Pressure Transducer (PPT2): Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://aerospace.honeywell.com/content/dam/aerobt/en/documents/learn/products/sensors/datasheet/PPT2-PrecisionPressureTransducer-Datasheet.pdf.

4. Baker Hughes, Druck. TERPS (Trench Etched Resonant Pressure Sensor) Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.bakerhughes.com/druck/terps-technology.

5. Analog Devices. Choosing the Right MEMS Sensor. Technical Article MS-2158 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/MS-2158.pdf.4. Ізоляція кабелів та проводів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://europan.ua/news/insulation-cables-and-wires-variety.

Іваничко Іван Васильович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail:ivanivanichko17@gmail.com*

Федоришин Євген Ярославович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: evgefedorisin42@gmail.com*

Ivanychko Ivan Vasyliovych *student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: ivanivanichko17@gmail.com*

Fedoryshyn Yevhen Yaroslavovych *student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: evgefedorisin42@gmail.com*