

Схему побудовано на мікроконтролері, інтерфейсі користувача, датчиках струму та напруги та напівпровідниковому навантаженні. Мікроконтролер виконує загальний алгоритм керування навантаженням, вимірювання та визначення параметрів батареї. Уся інформація про протікання процесу розряду записується у внутрішню пам'ять, та може бути передана на комп'ютер для подальшого аналізу, побудови графіків, тощо. Безопірний датчик струму на ефекті Холла забезпечує вимірювання струму в обох напрямках, що дозволяє використовувати пристрій і для визначення кількості електричної енергії отриманої батареєю при заряді.

Кероване навантаження реалізовано на чотирьох потужних напівпровідникових транзисторах включених паралельно. Переведення транзисторів в активний режим дозволяє в широкому діапазоні регулювати потужність, що на них розсіюється. Інтерфейс користувача дозволяє встановлювати межі робочої напруги при розряді, розрядний струм, метод розряду з відображенням параметрів на дисплеї.

Висновки

Запропоновано технічні рішення побудови пристрою, що реалізовує методи визначення робочих характеристик акумуляторної батареї.

РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЧА КРУТИЛЬНОГО МОМЕНТУ НА ВАЛУ ВЕНТИЛЯТОРА АВІАЦІЙНОГО ДВОКОНТУРНОГО ДВИГУНА, ІНТЕГРОВАНОГО В КОНСТРУКЦІЮ

Єпіфанов Сергій Валерійович, докт. техн. наук, професор,
зав. каф. конструкції авіаційних двигунів,

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»,
e-mail: s.yerifanov@khai.edu, ORCID: [0000-0003-0533-9524](https://orcid.org/0000-0003-0533-9524)

Подгорський Костянтин Миколайович, аспірант,

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»,
e-mail: ugk@motorsich.com

Турбореактивні двоконтурні двигуни з високим і надвисоким ступенем двоконтурності в поточний час є основою силових установок пасажирських і транспортних літаків великої та середньої дальності. У цих двигунах значна частина (80 і більше відсотків) тяги формується в зовнішньому контурі, основним елементом якого є вентилятор. Тому наявні програми розвитку авіаційних двигунів значну увагу приділяють удосконаленню вентиляторів. Однією з проблем у цьому напрямку є визначення характеристик вентиляторів за результатами його випробувань.

Типовим рішенням є проведення випробувань на стендах, обладнаних промисловими вимірювачами крутильного моменту (ВКМ). Випробування вен-

тиляторів двигунів великої тяги на таких стендах можливо тільки з використанням масштабних моделей.

Випробування повнорозмірних вентиляторів необхідно проводити в умовах повнорозмірного двигуна, що дозволяє визначати характеристики вентилятора з урахуванням його взаємодії з іншими вузлами двигуна. Використання промислових ВКМ у цих умовах є ускладненим.

Найбільш складним завданням обробки результатів випробувань є визначення ККД. Під час випробувань вентилятора у складі двигуна необхідно вимірювати крутильний момент на валу вентилятора, який сполучає його з турбіною низького тиску. Значна довжина цього валу сприяє забезпеченню високої чутливості кутового переміщення до величини крутильного моменту. Проте відсутність необхідних підходів до визначення залежності крутильної жорсткості валу від режиму й умов роботи двигуна перешкоджає застосуванню цього методу.

Це визначає актуальність розробки підходів до формування моделі крутильної жорсткості валу вентилятора з урахуванням нерівномірності розподілу температур у ньому.

У роботі [1] виконано аналіз похибок визначення ККД вентиляторів і показано, що метод, оснований на вимірюванні крутильного моменту, є суттєво більш точним, причому точність визначення ККД значною мірою залежить від точності визначення крутильного моменту.

У цій роботі розглянуто завдання формування вимірювача крутильного моменту, інтегрованого в конструкцію двигуна. Як об'єкт дослідження вибрано ротор вентилятора трьохвального двигуна з великим ступенем двоконтурності.

Запропонована система вимірювання крутильного моменту включає приладну та методичну складові. Приладна компонента складається з двох індуктивних датчиків, установлених над закріпленими на валу зубчастими індукторами, які розташовані на різних кінцях валу, і пристрою обробки сигналів датчиків.

Під час обертання ротора датчики генерують періодичні сигнали, частота яких дорівнює добутку частоти обертання ротора на кількість зубців відповідного індуктора. Пристрій обробки визначає фазовий зсув між цими сигналами, який внаслідок пружності кутової деформації валу є пропорційним до крутильного моменту.

З урахуванням аналізу конструкції валу вентилятора досліджуваного двигуна запропоновано використовувати встановлений у передній частині валу штатний безконтактний вимірювач частоти обертання, а також виконати конструктивну доробку, яка дозволяє забезпечити встановлення зубчастого індуктора в задній частині валу та індуктивного датчика на корпусі задньої опори турбіни. Це дозволяє реалізувати вимірювання кутового переміщення валу на великій мірній базі й таким чином забезпечити високу точність вимірювань.

Попередні дослідження аналогічної системи [2] показали, що основний внесок у похибку визначення крутильного моменту робить зміна температури валу, аналіз впливу якої в даному випадку ускладнюється тим, що вона суттєво нерівномірно розподілена за довжиною валу. Тому коректне урахування розподілу температури є однією з головних задач методичної складової системи вимірювання крутильного моменту.

Структура методичної складової представлена на рисунку.

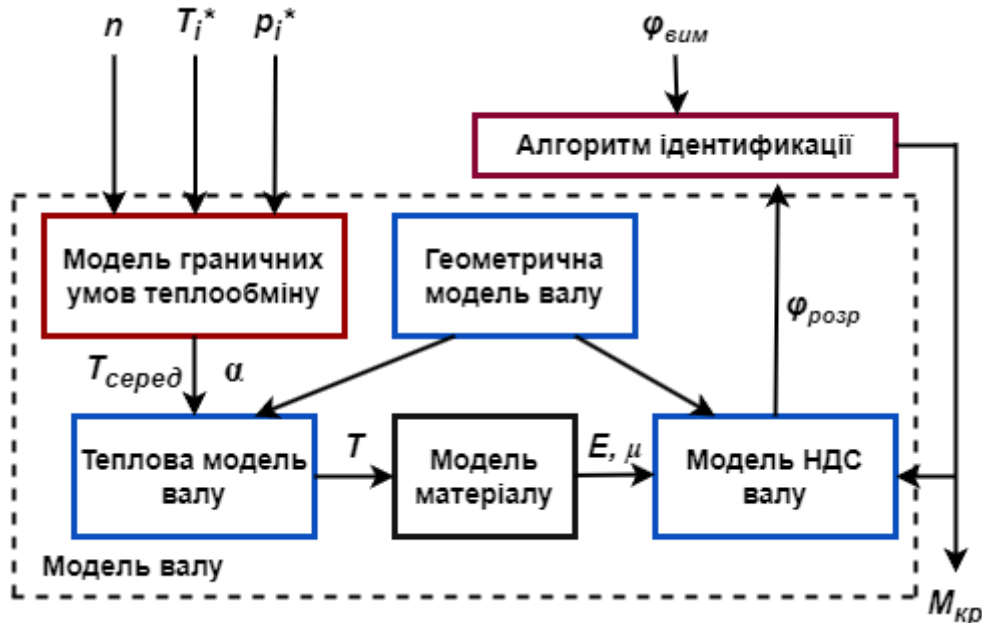


Рисунок – Структура методичної складової ВКМ, інтегрованої в конструкцію двигуна

Представлена структура складається з алгоритму ідентифікації та математичної моделі валу. Модель валу включає геометричну, теплову моделі та модель напружено-деформованого стану (НДС), а також допоміжні моделі для визначення термопружних властивостей матеріалу та параметрів граничних умов теплообміну.

Модель граничних умов теплообміну розраховує значення температури середовища та коефіцієнтів тепловіддачі на ділянках поверхні валу. Для цього використовуються базові значення зазначених параметрів, а також вимірювані на поточному режимі значення частоти обертання валу, а також температури та тиску в проточній частині.

Модель матеріалу по відомому полю температур, отриманому в результаті розв'язання теплової задачі розраховує значення модуля пружності та, за необхідністю, коефіцієнта Пуассона, й передає їх у модель напружено-деформованого стану.

Оскільки використовується математична модель валу є нелінійною, необхідний ітеративний алгоритм ідентифікації. Він є одновимірним, тому що на засадах аналізу одного параметру (кутового переміщення валу) налагоджує модель, коригуючи також один параметр (крутильний момент). Тому в даному

блоці може бути використаний алгоритм розв'язання нелінійного рівняння $\varphi(M_{кр}) = \varphi_{вим}$, заданого в алгоритмічній формі, де $\varphi_{вим}$ – значення кутового переміщення валу, отримане в результаті вимірювань; $\varphi(M_{кр})$ – значення, отримане за допомогою моделі.

Геометрична й теплова моделі валу, а також модель НДС реалізовані засобами Ansys.

Особливу увагу приділено формуванню моделі для визначення параметрів граничних умов теплообміну на поверхні валу. Запропоновано використувати відомі параметри граничних умов на базовому режимі, задані Розробником двигуна, забезпечуючи зв'язок з ними параметрів на поточному режимі на основі подібності умов теплообміну та режимів роботи двигуна.

Виокремлено три характерні зони поверхні валу, які відрізняються умовами теплообміну. Для цих зон на основі аналізу літературних джерел з теплообміну встановлено критеріальні співвідношення, які зв'язують критерій Нуссельта з критеріями Рейнольдса, Прандтля та Тейлора.

На основі цих критеріальних співвідношень і степеневих моделей, що апроксимують залежності теплофізичних властивостей повітря від температури, отримано вирази, що зв'язують значення коефіцієнтів тепловіддачі на поточному режимі з коефіцієнтами тепловіддачі на базовому режимі.

Література

1. Подгорський, К. М., Єпіфанов С. В. (2023). Аналіз точності експериментального визначення ККД вентилятора з використанням вимірювачів крутильного моменту. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, № 1(185), с. 35-46. <https://doi.org/.32620/aktt.2023.1.04>.
2. Sirenko, S., Yepifanov, S., Podgorsky, K., Nechunaev, S. (2018). New Approach to Torque Measurement Unit Development and its Calibration. *Journal of Konbin*, vol. 46, iss. 1. – p. 75–86. – <https://doi.org/10.2478/jok-2018-0024>.