

УДК 621.452

*К.М. Подгорський, С.В. Єніфанов, Є.Д. Куліш*

### **АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ККД ВЕНТИЛЯТОРІВ**

Турбореактивні двоконтурні двигуни з високим і надвисоким ступенем двоконтурності 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 існуючі програми розвитку авіаційних двигунів значну увагу приділяють удосконаленню вентиляторів. Підвищення ККД вентиляторів двигунів зазначеного класу потребує вирішення ряду складних взаємопов'язаних проблем, зокрема визначення характеристик вентилятора за результатами його випробувань.

Аналіз робіт у цій галузі показав, що відомі методи визначення ККД за результатами випробувань можна розділити на дві групи: методи, основані на використанні вимірювання зміни тиску й температури у вентиляторі та методи, основані на використанні вимірювання крутильного моменту. У цій роботі виконано порівняльний аналіз цих методів. Показано, що проблема забезпечення точності експериментального визначення ККД вентиляторів загострюється в зв'язку з наявною тенденцією підвищення ступеня двоконтурності, тому що при цьому максимальний ступінь підвищення тиску зменшується, що збільшує похибку визначення ККД. Виконано аналітичний аналіз похибок обох методів. Отримано універсальні залежності, які дозволяють прогнозувати похибки при відомих номінальних характеристиках вентилятора й похибках вимірювання параметрів, що використовуються. Показано, що, незважаючи на необхідність використання більшої кількості вимірюваних параметрів, метод, оснований на вимірюванні крутильного моменту, забезпечує меншу сумарну похибку за умови, що забезпечено мінімально необхідну точність вимірювання крутильного моменту. У багатьох практично важливих випадках потрібно визначити характеристику вентилятора безпосередньо під час його роботи в складі двигуна. При цьому найбільш прийнятним варіантом є визначення крутильного моменту за кутовою деформацією валу ротора низького тиску, який сполучує вентилятор із турбіною низького тиску. Отримані в даній роботі співвідношення дозволяють сформулювати вимоги до точності вимірювання крутильного моменту, покладені в основу завдання на проектування даної вимірювальної системи.

Кількісний аналіз похибок виконано на прикладі характеристики вентилятора двигуна з великим ступенем двоконтурності. Вибрано дві граничні точки характеристики, які відповідають положенню лінії робочих режимів в області режиму малого газу й максимального режиму. У цих точках визначено значення коефіцієнтів впливу відносних похибок кожного вимірюваного параметра на відносну похибку розрахунку ККД. Абсолютні значення цих коефіцієнтів суттєво зростають при зниженні режиму роботи двигуна. Показано, що при використанні другого способу визначення ККД вплив похибок вимірювання тиску знижується в 3...3,5 рази, а вплив похибок вимірювання температури – ще більш суттєво: в 20...35 разів. Однак при використанні другого способу з'являється додаткова похибка, пов'язана з

вимірюванням крутильного моменту. Визначено умову, яку має задовольняти похибка вимірювання крутильного моменту, щоб спосіб визначення ККД із його використанням був більш ефективним. Аналіз показав, що цю умову задовольнити легко. Однак виконати вимогу до максимального значення абсолютної похибки визначення ККД дуже складно. Для рішення практичних задач похибка ККД не має перебільшувати 0,5 %. Це значить, що точність вимірювання крутильного моменту навіть у випадку відсутності інших похибок вимірювання не може бути гіршою від 0,5 %. З урахуванням перспективи вимірювання температури й тиску з відносними середньоквадратичними відхиленнями  $\sigma_{\delta p} = 0,013 \%$  и  $\sigma_{\delta T} = 0,09 \%$ , СКВ похибка вимірювання крутильного моменту при цьому не має бути більшою, ніж 0,14 %.