

СПОСОБИ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБРОБЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОЛЬОТНИХ ДАНИХ АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

А. В. Дунай

ПАТ «Елемент», Національний університет «Одеська політехніка»

Україна, м. Одеса

adunay99@gmail.com

Розглянуто методи підвищення якості аналізу та оброблення польотних даних для збільшення надійності та ефективності роботи авіадвигуна. Наведені такі методи моделювання, як метод моделювання авіаційних двигунів на основі точних похідних, гібридна модель Вінера, модель на основі нейронної мережі мінімального пакетного градієнтного спуску. Висвітлено необхідність удосконалення методів діагностики на прикладі програмного забезпечення ПАТ «Елемент». Описано доцільність комбінації наведених методів.

Ключові слова: польотні дані, газотурбінний двигун, моделювання, методи аналізу.

Останніми роками відбувається активний розвиток авіоніки та ускладнення алгоритмів роботи двигунів літальних апаратів. Внаслідок цього збільшуються обсяги польотної інформації, яку треба обробляти, а аналіз даних, отриманих під час та після польоту, стає проблематичним. Аналіз експлуатаційних даних дозволяє реалізувати прогнозування поведінки газотурбінних двигунів у різних умовах, що дає змогу підвищити надійність та ефективність роботи як двигуна, так і літального апарату загалом. Окрім того, в результаті оброблення польотних даних можуть бути сформульовані гіпотези щодо адаптації поведінки двигуна до змін умов експлуатації, а також оптимізації процесів обслуговування та ремонту, що зменшує витрати на підтримку експлуатації двигуна.

Метою роботи є проведення аналізу різних методів удосконалення оброблення експлуатаційних польотних даних авіаційних двигунів та отримання висновку щодо доцільності їхньої реалізації. Розглянемо розроблене на ПАТ «Елемент» програмне забезпечення для оброблення даних та сформулюємо необхідні для підвищення його ефективності та функціональності заходи.

Методи аналізу експлуатаційних польотних даних залежать від математичної моделі двигуна, тому одним зі способів удосконалення оброблення даних є впровадження ефективної моделі. Станом на сьогодні існує значний прогрес у методах бортового моделювання для двигунів із впровадженням контролю та управління працездатністю, які, в основному, використовують фільтр Калмана [1].

Зв'язки між змінними авіаційного двигуна є складними, що викликає складність отримання аналітичних похідних. Цю проблему вирішує метод моделювання авіаційних двигунів на основі точних похідних, який перетворює задачу розрахунку похідної в задачу диференціального розрахунку за правилом ланцюга. Порівняно зі звичайними моделями загальна витрата часу моделі рівня компонентів, побудованої запропонованим методом, може бути зменшена більш ніж на 54% і 55% у розрахунку стаціонарного та перехідного стану відповідно [2]. Використання описаної моделі підвищує ефективність роботи двигуна, що передбачає отримання достовірних даних для аналізу.

Одним з методів оброблення експлуатаційних даних газотурбінних авіаційних двигунів з метою покращення математичної моделі двигунів є використання гібридної моделі Вінера. Ця модель використовує дані моніторингу двигуна після польоту, які спрямовуються на оцінку невимірних критичних для безпеки параметрів керування (тобто тяги, запасу перенапруги та температури на вході в турбіну) шляхом моніторингу ефектів деградації двигуна [3]. Суть методу полягає в урахуванні старіння газотурбінних авіаційних двигунів, оскільки зі збільшенням циклів польоту продуктивність двигуна відхиляється від номінального стану. Таким чином, використання гібридної моделі Вінера дозволяє отримати наближені до реальних післяпольотні дані, які будуть використані у бортовій моделі протягом життєвого циклу.

Ще одним підходом до покращення якості оброблення даних польотів є використання нейрон-

ної мережі мінімального пакетного градієнтного спуску як бази для моделі двигуна. Використання алгоритму MGD є придатним для навчання нейронної мережі великим даним, оскільки він потребує набагато менше часу для оновлення параметрів. Результати показують, що запропонований метод більш точний, має менший обсяг даних, що зберігаються, і вищу продуктивність у реальному часі, ніж метод моделювання регресії опорних векторів [4]. Використання цього методу дозволяє збільшити обсяг даних та оптимізувати їх аналіз. Окрім цього, впровадження алгоритмів машинного навчання надає можливість реалізації прогностичних моделей, які дозволяють передбачати час до виникнення несправності двигуна, що дозволяє здійснювати ремонт або заміну компонентів заздалегідь.

Підвищення достовірності оцінки технічного стану газотурбінного двигуна також може бути досягнуто шляхом удосконалення застосовуваних методик діагностування, в яких необхідно враховувати діагностичні моделі двигунів, отримані за даними стендових випробувань і в процесі експлуатації, а також сучасні методи прикладної статистики — способи основних компонентів і факторного аналізу [5]. Для реалізації таких методів необхідно використовувати ефективне алгоритмічне та програмне забезпечення.

Програмне забезпечення для оцінки й аналізу експлуатаційних даних авіаційних двигунів розробки ПАТ «Елемент» призначено для візуального аналізу та перегляду баз даних випробувань двигунів у графічній та табличній формі, виведення інформації на друк, а також експорту даних. Особливістю програми є використання для оброблення нереляційної бази даних власної розробки. Це рішення є ефективним, оскільки дозволяє виконувати реєстрацію і наступний перегляд 1000+ параметрів з частотою до 10 кГц. Час оновлення при серфінгу не перевищує 0,5 с незалежно від розміру бази даних та інтервалу часу, що переглядається [6]. З недоліків розглянутого програмного засобу можна виділити відсутність автоматичного аналізу поведінки двигуна, оскільки він виконується за допомогою візуального аналізу. Доцільно розробити заходи щодо автоматизації обробки польотних даних.

Аналіз показав, що розв'язання задачі удосконалення обробки експлуатаційних польотних даних авіаційних газотурбінних двигунів може бути досягнуто шляхом підвищення ефективності моделі авіадвигуна, наближення її до реальної, збільшення кількості даних для аналізу, впровадження алгоритмів машинного навчання та автоматизації. Оскільки описані методи не є несумісними, доцільно реалізувати комплексне рішення, яке буде враховувати кожен з перелічених методів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Wei Z., Zhang S., Jafari S., Nikolaidis T. Gas turbine aero-engines real time on-board modelling: A review, research challenges, and exploring the future. *Progress in Aerospace Sciences*, 2020, № 121, 61.
2. Pang S., Li Q., Zhang H.. An Exact Derivative Based Aero-Engine Modeling Method. *IEEE Access*, 2018, № 6, 11.
3. Wei Z., Jafari S., Zhang Sh., Nikolaidis Th. Hybrid Wiener model: An on-board approach using post-flight data for gas turbine aero-engines modelling. *Applied Thermal Engineering*, 2021, № 184.
4. Zheng Q., Zhang H., Li Y. Hu Z. Aero-engine on-board dynamic adaptive MGD neural network model within a large flight envelope. *IEEE Access*, 2018, № 6, 7.
5. Миргород В. Ф., Ранченко Г. С.. Сравнительный анализ методов диагностирования технического состояния двигателя газотурбинного привода по данным регистрации. *Двигатели аэрокосмических летательных аппаратов*, 2006, № 2, с. 70–74.
6. Волков Д. И., Лопунова Н. Н. Оптимизация объема нереляционной базы данных и времени доступа к данным при множественных частотах регистрации параметров. *Авиационно-космическая техника и технология*, 2018, № 7, с. 107–111.

A. V. Dunai

Methods of improving the processing of operational flight data of aviation gas turbine engines

The author considers the methods of improving the analysis and processing of flight data to increase the reliability and efficiency of the aircraft engine. Among the modeling methods presented in the study as the method of modeling aircraft engines based on exact derivatives, Wiener's hybrid model, and the model based on the minimal batch gradient descent neural network. The study emphasizes the need to improve the diagnostic methods using the software of JSC "Element" as an example and describes the practicality of combining the above methods is described.

Keywords: flight data, gas turbine engine, modelling, analysis methods.