

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117 В ПОЛЬОТНИХ РЕЖИМАХ

¹ Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Анотація

Запропоновано застосування підходу до розробки експертної системи ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 на базі FDI-методу (Fault Detection and Identification), заснованого на порівнянні результатів вимірювань газодинамічних параметрів реального двигуна з розрахунковими параметрами, обчисленими по його математичній моделі, що дозволить вирішити широкий набір задач контролю і діагностики його технічного стану.

Ключові слова: авіаційний двигун, експертна система, FDI-метод, інформаційна модель, технічний стан.

Abstract

The application of the approach to the development of an expert system for the identification of the technical state of the aircraft engine TV3-117 based on the FDI-method (Fault Detection and Identification) based on a comparison of the results of measurements of the gas dynamic parameters of a real engine with calculated parameters calculated using its mathematical model is proposed. a set of tasks to monitor and diagnose its technical condition.

Keywords: aircraft engine, expert system, FDI-method, information model, technical condition.

Вступ

Безпека польотів повітряного судна – одна з проблем авіації, багато в чому залежить від надійності роботи їх двигунів. У свою чергу, надійна робота двигуна забезпечується цілим комплексом заходів, серед яких важливе місце відводиться діагностиці його технічного стану. Оскільки більшість відмов, які впливають на безпеку експлуатації повітряного судна, зароджуються і проявляються саме в польоті, що вимагає наявності ефективної бортової системи ідентифікації технічного стану двигуна в режимі реального часу безпосередньо на борту повітряного судна.

Реалізація FDI-методу дозволяє максимально врахувати індивідуальні особливості двигуна ТВ3-117 шляхом використання математичної моделі, яка адаптується (підлаштовується) під індивідуальні характеристики останнього, отримані в процесі його експлуатації.

Проблема інформаційної ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 у рамках наукової задачі не є тривіальною. Серед основних питань, які потребують свого вирішення у рамках цієї проблеми, можна відзначити наступні: розв'язок підзадач, які є складовими задачі ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117; розробка експертних систем в умовах розподілених баз даних і знань; взаємодія баз даних і знань; необхідні ресурси для реалізації ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117; роль системного моделювання для розв'язку даної проблеми тощо.

Відповідь на ці та інші питання дасть змогу науково обґрунтовано і ефективно розв'язати проблему інформаційної ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117.

Останнім часом, при створенні складних інформаційних систем, роль системного моделювання істотно зросла. Підтвердження тому – наявність вбудованих CASE засобів у сучасних базах даних (Oracle, Informix, R-Base тощо), а також у більшості експертних системах. Однак присутність цих засобів у якості базових компонент системного моделювання, на основі яких у кінцевому підсумку будується та чи інша програма, ще не означає, що вони будуть правильно використовуватися при вирішенні прикладних задач в тій чи іншій області застосування. Це пояснюється тим, що крім

загальної автоматизації створення додатка CASE засобами, до сих пір відсутня відповідна методична та методологічна підтримка даного процесу.

Іншим аспектом цього процесу є об'єкт дослідження, складність якого в кінцевому підсумку визначає нетривіальність його подання (формалізації) в рамках SADT-методології.

Виходячи зі сказаного вище, застосування методології системного моделювання на етапі проектування інтелектуальної системи дозволяє грамотно обґрунтувати і сформулювати вимоги до майбутньої інтелектуальної системи, виділити повну множину функцій і визначити взаємозв'язок її окремих компонентів для подальшої реалізації у вигляді дослідного прототипу експертної системи ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117.

Формалізація інформаційного портрета двигуна в рамках SADT-методології й IDEF-технології є окремою проблемою, оскільки системна модель у кінцевому рахунку збирає всю інформацію про процес ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна в інформаційну «купу». Тому основною задачею, розв'язуваною на даному етапі, є «прозорість» подання двигуна і його підсистем у процесі ідентифікації його технічного стану (виділення основних функцій і вирішуваних задач), зв'язок інформаційних потоків з певними раніше структурами баз даних і знань, а також його взаємозв'язок у рамках сценаріїв роботи з експертною системою і зовнішніх інтерфейсів зі SCADA-системами, PDM і STEP-стандартами, CALS-технологією, іншими CASE засобами.

Постановка задачі

Таким чином, на основі системної моделі, на етапі проектування інтелектуальної системи ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, з використанням SADT-методології й IDEF-технології необхідно виконати наступну послідовність кроків:

- розробити функціональну модель з метою виділення повної множини функцій і задач, що вирішуються експертною системою;
- розробити інформаційну модель, що визначає логічну структуру баз даних і знань, а також способи та механізми управління ними та взаємодії (обґрунтування змісту, наповнення, управління інформаційними потоками);
- розробити динамічну модель, яка визначає правила роботи з експертною системою, які є основою для створення інтерфейсу (сценаріїв) з користувачем і визначають динаміку взаємодії експертної системи з базами даних і знань.

Крім цього, реалізація FDI-методу дозволяє максимально врахувати індивідуальні особливості двигуна шляхом використання математичної моделі, яка адаптується (підлаштовується) під індивідуальні характеристики останнього, отримані, як у процесі випробування двигуна на випробувальному стенді, так і в процесі його експлуатації на повітряному судні.

Результати дослідження

В основі ідеології інформаційної системи ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 пропонується використання методу FDI (Fault Detection and Identification), який базується на порівнянні результатів вимірювань газодинамічних показників у режимі реального часу з формулярними [1, 2].

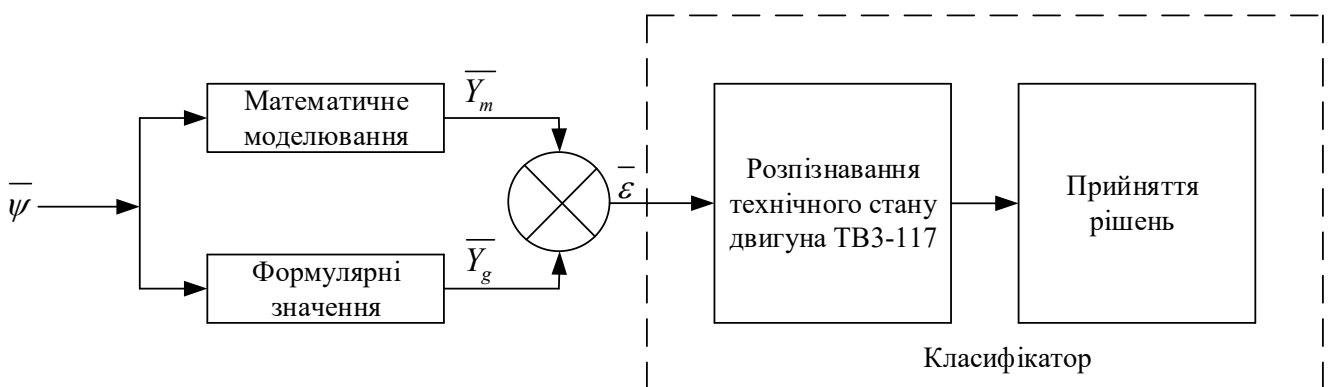


Рис. 1. Реалізація FDI-методу

На рис. 1 позначено: $\bar{\psi}$ – вектор керуючих впливів; \bar{Y}_m – вектор параметрів, отриманих за результатами математичного моделювання газодинамічних процесів у режимі реального часу; \bar{Y}_g – вектор формулярних значень газодинамічних показників; $\bar{\varepsilon} = \bar{Y}_g - \bar{Y}_m$ – нев'язування, яке отримане у процесі покомпонентного порівняння векторів \bar{Y}_g і \bar{Y}_m .

У процесі реалізації даного методу необхідно вирішити наступні задачі:

- розробка і програмна реалізація моделі авіаційного двигуна;
- обчислення неузгодженості (нев'язування) і розпізнавання технічного стану двигуна;
- прийняття рішення про технічний стан авіаційного двигуна.

При цьому процес розпізнавання технічного стану та прийняття на підставі цього відповідного рішення у сукупності виконує функцію класифікатора.

У роботі пропонується алгоритм розв'язку задач ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 за результатами моделювання газодинамічних процесів з використанням експертної системи, який включає в себе виконання наступної послідовності кроків:

- формалізація і адаптація компонентної семантичної моделі двигуна в середовищі бази концептуальних знань;
- формалізація і адаптація методу діагностування в середовищі експертної системи;
- розробка інтерфейсу між базою даних випробувань і внутрішньої бази даних на основі імпорту – експорту файлів;
- розробка (наповнення) баз експертних знань шляхом вирішення «прямих» завдань ідентифікації (побудова причинно-наслідкових зв'язків у вигляді продукцій-правил);
- розробка (наповнення) баз експертних баз знань шляхом розв'язання обернених задач ідентифікації (по слідству знайти причину);
- розробка баз нечітких правил в середовищі баз концептуальних знань;
- приведення векторів розрахункових (по моделі) і формулярних параметрів до відносних одиниць (нормування);
- покомпонентне порівняння векторів розрахункових і формулярних параметрів двигуна (визначення його технічного стану);
- прийняття рішення (вироблення рекомендацій) про подальшу експлуатацію двигуна.

При реалізації пропонованого метода у середовищі експертної системи можна використовувати підхід до адаптації математичної моделі авіаційного двигуна в базі знань під індивідуальне авіаційний двигун (з урахуванням даних, що характеризують його паспортні значення), але при цьому необхідний аналіз значних обсягів апріорної інформації, пов'язаної з випробуваннями і експлуатацією подібних діагностованих двигунів.

Налаштування (підгонка коефіцієнтів) математичної моделі на індивідуальний двигун передбачає використання методу порівняння [3, 4], суть якого полягає в мінімізації нев'язувань між параметрами, обчисленими по математичній моделі і формулярними, шляхом послідовних ітерацій (настройки коефіцієнтів поправок для всіх вимірюваних і обчислюваних величин).

Послідовність кроків, характерних для адекватного уявлення середньостатистичної математичної моделі в середовищі бази знань пропонованої експертної системи, наступна:

1. Результати випробувань декількох бездефектних двигунів з парку двигунів подаються для ідентифікації математичної моделі, отриманої на основі теоретичних описів робочого процесу в двигуні.

2. Проводиться ідентифікація математичної моделі за результатами випробування її фізичного аналога (варійовані параметри при цьому є параметрами стану).

3. Отримані при ідентифікації за результатами випробувань двигуна ТВ3-117 значення параметрів стану розглядаються як випадкова вибірка з генеральної сукупності (для кожного параметра стану знаходиться математичне очікування, дисперсія та інші статистичні оцінки, аналіз яких дозволяє виявити грубі помилки і оцінити можливі межі зміни параметрів стану для бездефектного двигуна).

4. Математичні сподівання параметрів стану включаються в масив вихідної інформації для еталонної середньостатистичної математичної моделі бездефектного двигуна.

5. Проводиться класифікація можливих дефектів для всіх вузлів двигуна окремо і визначаються параметри стану, що змінюються при появі цих дефектів (так як різні несправності можуть призводити

до зміни одного і того ж параметра стану вони об'єднуються в групи); для кожного з параметрів намічаються межі, які означають появу того чи іншого дефекту.

6. На математичній моделі газодинамічних процесів двигуна ТВЗ-117 за необхідністю імітуються різні дефекти шляхом зміни параметрів стану і розраховуються відповідні їм ознаки стану (пряма задача).

7. Проводиться ідентифікація математичної моделі газодинамічних процесів двигуна ТВЗ-117 в рамках FDI-методу за результатами випробування досліджуваного двигуна, при цьому вхідною інформацією для ідентифікації є ознаки стану, вимірянні при випробуваннях (дані з бази даних випробувань), а вихідною інформацією – параметри стану (зворотна задача); отримані значення параметрів стану порівнюються з формулярними значеннями цих параметрів для бездефектного двигуна і в результаті робиться висновок про наявність відповідних несправностей.

Для підвищення точності ідентифікації параметрів технічного стану двигуна ТВЗ-117 за розробленою математичною моделлю можна використовувати два підходи:

– по-перше, математичну модель можна замінити індивідуальною, тобто для кожного екземпляра двигуна коригувати сталонну модель шляхом ідентифікації останньої за результатами поточних випробувань (уточнюються індивідуальні параметри стану, які будуть індивідуальними, а отже і більш надійними);

– по-друге, замість постійних меж параметрів стану можна використовувати змінні, що враховують дрейф цих меж з урахуванням зносу й старіння двигуна, застосовуючи елементи нечіткої логіки.

Ефективність ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВЗ-117, в рамках FDI-методу, багато в чому залежить від ефективності використовуваного методу [5]: діагностичних матриць, розв'язку системи нормальних рівнянь, нелінійної оптимізації критерію технічного стану, порівняння на основі методу найменших квадратів (МНК), порівняння на основі методу найменших модулів (МНМ).

Висновки

Таким чином, у роботі запропоновано структуру експертної системи ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВЗ-117 на базі FDI-методу, що дозволить, шляхом реконфігурації математичної моделі і адаптації її характеристик до індивідуального двигуна, вирішувати широкий набір задач контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВЗ-117. Перспективою подальших досліджень є розв'язок задачі створення інтелектуальних систем ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВЗ-117 з використанням реконфігурованої математичної моделі авіаційного двигуна і організації контролю на основі методу діагностичних матриць і правил нечіткої логіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Frank M. P. Current developments in the theory of FDI / M. P. Frank, S. X. Ding // Preprints of the 4th IFAC Symposium on Fault Detection Supervision and Safety for Technical Processes, Budapest, 14–16 June, 2000. – 2000. – Vol. 1 – Pp. 16–27.

2. Fuente M. J. Fault detection and isolation in a non-linear plant via Neural Networks / M. J. Fuente, S. Saludes // Preprints of the 4th IF AC Symposium on Fault, Detection Supervision and Safety, for Technical Processes (SAFEPROCESS'2000), Budapest, Hungary, 14–16 June, 2000. – 2000. – Vol. 1 – Pp. 472–477.

3. Таран Е. М. Универсальный метод согласования математической модели ГТД с результатами испытаний / Е. М. Таран // Испытания авиационных двигателей. – Уфа : УАИ, 1986. – № 14. – С. 63–70.

4. Ладыгин С. Ф. Эффективность методов уравнивания в задачах идентификации параметров математических моделей ГТД / С. Ф. Ладыгин // Испытания авиационных двигателей. – Уфа : УАИ, 1985. – № 13. – С. 31–41.

5. Гишваров А. С. Математическое моделирование рабочих процессов газотурбинных энергетических установок / А. С. Гишваров, И. В. Приб, В. С. Жернаков // Труды АН Республики Башкортостан. Отделение технические науки. – Уфа : АН РБ, 2002. – С. 212–229.

Шмельов Юрій Миколайович – канд. техн. наук, заступник начальника коледжу з навчальної роботи, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, Кременчук, e-mail: ref.nv.klknau@gmail.com.

Владов Сергій Ігорович – канд. техн. наук, завідувач навчально-методичної лабораторії, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, Кременчук, e-mail: ser26101968@gmail.com.

Клімова Яна Русланівна – викладач циклової комісії конструкції та експлуатації повітряних суден і авіадвигунів, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, Кременчук, e-mail: keps.nv.klknau@gmail.com.

Shmelov Yurii M. – Cand. Sc. (Eng), Deputy college chief for curriculum, Teacher of department of energy supply and control systems, Kremenchug Flight College of National Aviation University, Kremenchug, e-mail: ref.nv.klknau@gmail.com.

Vladov Serhii I. – Cand. Sc. (Eng), Head of methodical-study laboratory, Teacher of department of energy supply and control systems, Kremenchug Flight College of National Aviation University, Kremenchug, e-mail: ser26101968@gmail.com.

Klimova Yana Ruslanivna – Teacher of department of design and operation of aircraft and aircraft engines, Kremenchug Flight College of National Aviation University, Kremenchug, e-mail: keps.nv.klknau@gmail.com.