

СЕКЦІЯ 2
НАВІГАЦІЯ, ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ПОВІТРЯНИХ
СУДЕН

УДК 629.735

Сергій Ігорович Владов,

кандидат технічних наук,

Кременчуцький льотний коледж ХНУВС

Юрій Миколайович Шмельов,

кандидат технічних наук,

Кременчуцький льотний коледж ХНУВС

Курбан Рамазанович Курбанов,

Професор Кременчуцького льотного коледжу ХНУВС

ЩОДО ПИТАННЯ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ авіаційного двигуна ТВ3-117 У
польотних режимах ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЧІТКОЇ
ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ

Застосування експертних систем (ЕС) значно підвищує ефективність діагностики авіаційного двигуна ТВ3-117 [1, 2], оскільки дозволяє оперативно аналізувати різноманітну інформацію про особливості польотної ситуації, виробляти необхідні рекомендації про можливість усунення тієї або іншої несправності, враховувати нелінійність і невизначений характер протікають в них процесів і приймати оптимальні рішення по експлуатації даного двигуна.

Одним з перспективних способів підвищення ефективності функціонування сучасних систем діагностики є впровадження нових інформаційних комп'ютерних технологій, що базуються на «м'яких» обчисленнях: нечіткої логіки (НЛ), нейронних мережах (НС), генетичних алгоритмах (ГА), з адаптацією цих технологій в середовищі гібридних динамічних ЕС, що дозволяє їм за рівних обчислювальних можливостях із звичайною ЕС охоплювати більш широкий спектр вирішуваних завдань.

ЕС діагностики співвідносять спостерігаються порушення поведінки системи з котрі зумовили їх причинами, спираючись на один з двох наступних методів. Перший має на увазі використання якоїсь таблиці асоціативних зв'язків між типами поведінки систем

і діагнозами. У другому методі спільне використання знань про те, як влаштована система, і знань про слабкі місця конструкції або використовуваних деталей дозволяє робити припущення про несправності, сумісних з спостерігаються даними [3].

Обчислювальна потужність ЕС визначається, в першу чергу, нарощує базу знань (БЗ), в якій зберігаються еталонні дані, що описують розглянуту область, і правила, що описують цілеспрямоване перетворення даної галузі. Сучасні гібридні діагностичні ЕС [3] дозволяють оперувати нечіткими визначеннями, дозволяючи більш ефективно використовувати і зберігати отримані знання, полегшуючи процес їх придбання, а система в цілому стає більш гнучкою.

Мобільність ЕС обумовлена мобільністю БЗ і можливістю її поповнення з різних інформаційних складових (баз даних (БД), баз експертних знань (БЕЗ), баз концептуальних знань (БКЗ), динамічних файлів тощо), а також різними процедурами виведення. Конкретизація знань при розв'язанні задач діагностики декомпозує їх на точні і неточні, повні і неповні, статичні і динамічні, однозначні і багатозначні тощо. Крім того, самі експертні знання неточні в силу їх суб'єктивного характеру. Приблизність і багатозначність знань призводять до того, що ЕС має справу як би не з однією, а з кількома альтернативними областями. Тому неповнота знань дозволяє використовувати не одне, а кілька джерел знань, що особливо актуально при експлуатації авіаційного двигуна ТВ3-117, який вимагає залучення інтелектуальних систем, здатних ефективно локалізувати відмову, усунути несправність, здійснити настрійку (регулювання) параметрів і прогноз поточного стану (ресурсу) тощо.

При створенні ЕС діагностики і контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 було враховано низку особливостей, пов'язаних:

- з досліджуванним об'єктом (кількість діагностованих і контрольованих параметрів, адаптація моделі (точність, допущення), помилки вимірювань);

- з архітектурою ЕС (взаємодія інформаційних потоків, організація баз даних (БД) і знань (БЗ) (баз концептуальних та експертних знань));

- з адаптацією «м'яких» обчислень в середовищі ЕС і її підсистем;

– з рівнем кваліфікації користувача при вирішенні поставлених перед ними завдань.

В основі ідеології розробленої експертної контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 лежить використання методу FDI (Fault Detection and Identification), заснованого на порівнянні результатів вимірювань газодинамічних параметрів реального двигуна з розрахунковими параметрами, обчисленими по його математичній моделі [4].

Компонентна математична модель нечіткої експертної системи в узагальненому вигляді може бути представлена:

$$Z_{\xi,k}^*(t) = P_{\xi,k} \left(Z_{\xi}(t), R_k, Q_k, S_k, T_k \right); \quad (1)$$

де $Z_{\xi,k}^*(t)$ – вектор вихідних параметрів, обчислених за компонентною математичною моделлю двигуна; $Z_{\xi}(t)$ – вектор вхідних впливів, що задає режим роботи двигуна, $\xi = \overline{1, \varepsilon}$; $R_k = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ – компонент, що входять до складу математичної моделі двигуна і знаходяться в концептуальній БЗ експертних систем, що характеризуються k -м поєднанням в узагальненій семантичній мережі, $k = \overline{1, K}$; Q_k – оператор перетворення вектору вхідних впливів у вектор вихідних параметрів, що розраховуються за обчислювальною моделлю; S_k – рівняння зв'язку для побудови компонентної моделі (визначення сполучних змінних окремих компонент); T_k – тривалість функціонування.

Нечітка експертна система здійснює процес контролю і діагностики авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі декількох методик, реалізованих і адаптованих в її середовищі. Алгоритм полягає в наступному: нехай множина $\{Y\}$ можливих технічних станів двигуна характеризується підмножинами $y_j \in Y$ еталонних векторів діагностичних ознак F_{l_i} (j – порядковий номер технічного стану; i – порядковий номер еталонного вектору технічного стану: $F_{l_i} \in Y$

, де $i = 1 \dots N$ – загальне число еталонних векторів, що складають безліч технічних станів двигуна Y).

Передбачається, що узагальнена лінійна функція, що розділяє одну з підмножин y_j технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 від сукупності всіх інших підмножин його технічного стану, має вигляд:

$$L_j = \sum_{n=1}^N d_{n_j} f(F_l, F_{l_n}); \quad (2)$$

$$d_{n_j} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } F_{l_n} \in y'_j \\ -1, \text{ якщо } F_{l_n} \notin y'_j \end{cases}, \quad f(F_l, F_{l_n}) = e^{-\left(\|F_l - F_{l_n}\|\right)^2},$$

де

$y'_j \in y'$ – редуцирована множина технічних станів двигуна, отримана з початкової множини Y шляхом відбору його елементів (еталонних векторів F_{l_i}) за наступним правилом вектору F_{l_i} з множини Y встановлюється однозначний йому вектор F_{l_n} множини y' $F_{l_i} \equiv F_{l_n}$ тільки в тому випадку, коли відмінна від нуля величина τ_i , що розраховується за рекурентним співвідношенням:

$$\tau_i = \frac{1}{2} b_i \left\{ 1 - b_i \operatorname{sgn} \left(a \left(F_{l_{i-1}} \right) \right) \right\}; \quad (3)$$

$$\text{де } a \left(F_{l_{i-1}} \right) = a \left(F_{l_{i-2}} \right) + \tau_{i-1} e^{-\left(\|F_l - F_{l_{i-1}}\|\right)^2}, \quad a F_{l_i} = e^{-\left(\|F_l - F_{l_i}\|\right)^2},$$

$$b_i = \begin{cases} 1, \text{ якщо } F_{l_i} \in y'_j \\ -1, \text{ якщо } F_{l_i} \notin y'_j \end{cases},$$
$$\text{sgn}(aF_{l_{i-1}}) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } a(F_{l_{i-1}}) > 0 \\ -1, \text{ якщо } a(F_{l_{i-1}}) \leq 0 \end{cases}$$

Вирішальне правило розпізнавання j -го технічного стану авіаційного двигуна ТВЗ-117 має вигляд:

- якщо $L_j > 0$, то вектор вимірних параметрів F_l відповідає j -му технічному стану двигуна;
- якщо $L_j < 0$, то вектор вимірних параметрів F_l не відповідає j -му технічному стану двигуна;
- якщо $L_j = 0$, то технічний стан двигуна не визначено.

Запропонований метод розв'язку контролю і діагностики авіаційного двигуна ТВЗ-117 на основі FDI-методу передбачає, на відміну від існуючих класичних методів, що використовують жорсткі допуски на контрольовані і діагностовані параметри, а також жорсткі межі варіювання коефіцієнтів, що погоджує експериментальні та розрахункові дані на етапах локалізації дефектів у двигуні, застосовувати правила нечіткої логіки, засновані на адаптації розрахункової математичної моделі реальному двигуну з урахуванням конкретних зовнішніх умов, а також знань і досвіду експертів для прийняття правильних рішень про технічний стан двигуна. Пропонується елементи нечіткої логіки застосовувати спільно з такими класичними методами, як:

- метод діагностичних матриць (матриць Л.А. Урбана);
- варіювання коефіцієнтів параметрів стану двигуна, з метою мінімізації нев'язок між вимірюваними та розрахунковими параметрами двигуна.

Задача семантичної візуалізації, а також реконфігурації математичної моделі (зворотне доведення теорем, автоматичний синтез програм) в середовищі нечіткої експертної системи розв'язується на основі математичної моделі авіаційного двигуна ТВЗ-117.

Математична модель, що описує технічний стан авіаційного двигуна ТВ3-117, налаштована на індивідуальний двигун з урахуванням розсіювання параметрів компресорних характеристик. Дана задача розв'язується в два етапи:

– пряма задача, для розв'язку якої використовується статистика характерних дефектів, що проявилися в процесі експлуатації даного двигуна, а також подібна статистика, отримана за адекватною математичною моделлю;

– обернена задача, розв'язок якої дозволяє за результуючим вектором відхилень (покомпонентне порівняння параметрів математичної моделі і вимірних даних зі штатних датчиків) прийняти рішення про фактичний технічний стан двигуна.

Для розв'язку задачі локалізації несправних модулів проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117 використовується метод діагностичних матриць, який встановлює зв'язки між відхиленнями вимірюваних термогазодинамічних параметрів робочого процесу і відхиленнями розрахункових конструктивних параметрів стану вузлів двигуна. Такі моделі можуть бути задані в векторній формі у вигляді:

$$\overline{\delta}_x = A^{-1} B \overline{\delta}_y; \quad (4)$$

де $\overline{\delta}_x$ – вектор параметрів стану двигуна; $\overline{\delta}_y$ – вектор діагностичних ознак, відносних відхилень вимірюваних параметрів двигуна; B і A – матриці коефіцієнтів, що дозволяють встановлювати кількісний взаємозв'язок зазначених параметрів на певних режимах роботи двигуна. Діагностична матриця конкретного двигуна на певному режимі являє собою таблицю чисельних значень коефіцієнтів a_{ij} і b_{ij} , що дозволяє за відхиленнями ряду вимірюваних параметрів $\delta_{y_{ij}}$ визначати відхилення невимірюваних параметрів стану окремих вузлів δx_{ij} .

Таким чином, в рамках FDI-методу здійснюється настройка реконфігурованою математичною моделлю авіаційного двигуна ТВ3-117, що зберігається в базі концептуальних знань, на індивідуальний двигун, а застосування апарату нечіткої логіки на етапі прийняття рішення підвищує ефективність і якість прийнятих рішень. Причому удосконалення нечіткої експертної системи

математичним апаратом, що описує вузли авіаційного двигуна ТВ3-117, з використанням методів зрівнювання й найменших квадратів, може застосовуватися як оперативний засіб для аналізу технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-1117, коли необхідно швидко і з меншими подробицями оцінити його технічний стан. Якщо необхідний більш докладний і повний аналіз оцінки стану двигуна з видачою експертної оцінки прийняття рішення, а також дерева міркувань, то в цьому випадку може застосовуватися розроблена нечітка експертна система, що видає рекомендації екіпажу повітряного судна.

Список бібліографічних посилань

1. Шмельов Ю. М., Владов С. І., Дерев'янку І. Г. Основні вимоги до експертної системи контролю та діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 // *Авіація та космонавтика : матеріали X Всеукр. наук.-практ. конф.* (м. Кривий Ріг, 16 квіт. 2019 р.). Кривий Ріг : КК НАУ, 2019. С. 67.

2. Владов С. І., Плужник З. І. Щодо питання застосування експертних систем контролю та діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 // *Авіація та космонавтика : матеріали XI Всеукр. наук.-практ. конф.* (м. Кривий Ріг, 22 квіт. 2020 р.) Кривий Ріг, 2020. С. 40.

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

4. Шмельов Ю. М., Владов С. І., Хебда А. С., Котляров К. Г. Застосування правил нечіткої логіки у задачі ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018. Т. 30 (69), № 3. С. 34–40.

Одержано 30.04.2020

