

УДК 629.735

Шмельов Ю.М.

Кременчуцький льотний коледж
Національного авіаційного університету

Владов С.І.

Кременчуцький льотний коледж
Національного авіаційного університету

Хебда А.С.

Кременчуцький льотний коледж
Національного авіаційного університету

Котляров К.Г.

Кременчуцький льотний коледж
Національного авіаційного університету

ЗАСТОСУВАННЯ ПРАВИЛ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В ЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117

У роботі застосовується відомий підхід до побудови нечіткої експертної системи для оцінки технічного стану вузлів авіаційного двигуна ТВ3-117. Запропонований алгоритм контролю й діагностики технічного стану двигуна на основі модифікованого методу діагностичних матриць і правил нечіткої логіки. Розроблена інженерна методика може бути застосована на етапі льотної експлуатації авіаційного двигуна ТВ3-117.

Ключові слова: контроль, діагностика, нечітка логіка, база даних, авіаційний двигун.

Постановка проблеми. Безпека польотів повітряного судна – одна з проблем авіації, яка багато в чому залежить від надійності роботи двигунів. У наш час технічна діагностика авіаційних двигунів здійснюється тільки на землі інженерно-технічним персоналом, у розпорядженні якого є відповідні інструментальні засоби й методичний апарат. Надійна робота двигуна забезпечується цілим комплексом заходів, серед яких важливе місце відводиться ідентифікації його технічного стану. Оскільки більшість відмов, які впливають на безпеку експлуатації повітряного судна, зароджуються й проявляються саме в польоті, це вимагає наявності ефективної бортової системи ідентифікації технічного стану двигуна в режимі реального часу безпосередньо на борту повітряного судна. Труднощі діагностики авіаційного двигуна в автоматичному режимі в польоті пов'язані з високою складністю конструкцій авіаційних двигунів, зокрема й турбовального двигуна ТВ3-117, зумовленою багатопараметричністю,

багатопов'язаністю, нелінійністю процесів, що протікають у них, багаторежимністю застосування, що вимагає значних машинних і часових ресурсів. Тому розроблення інформаційної системи ідентифікації показників технічного стану двигуна ТВ3-117 є актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині проблематикою інформаційної діагностики авіаційної техніки активно займаються вчені Московського державного технічного університету цивільної авіації (МДТУ ЦА), серед яких варто виділити роботи професора О.Ф. Машошина [1–3], в яких застосовані різні методики визначення несправностей авіаційної техніки, зокрема й авіаційних двигунів. Велика увага приділялася методам діагностики авіаційної техніки з позиції інформативності й інформаційного забезпечення процесів її діагностування.

Також варто відзначити роботи професора С.В. Жернакова (Уфімський державний авіацій-

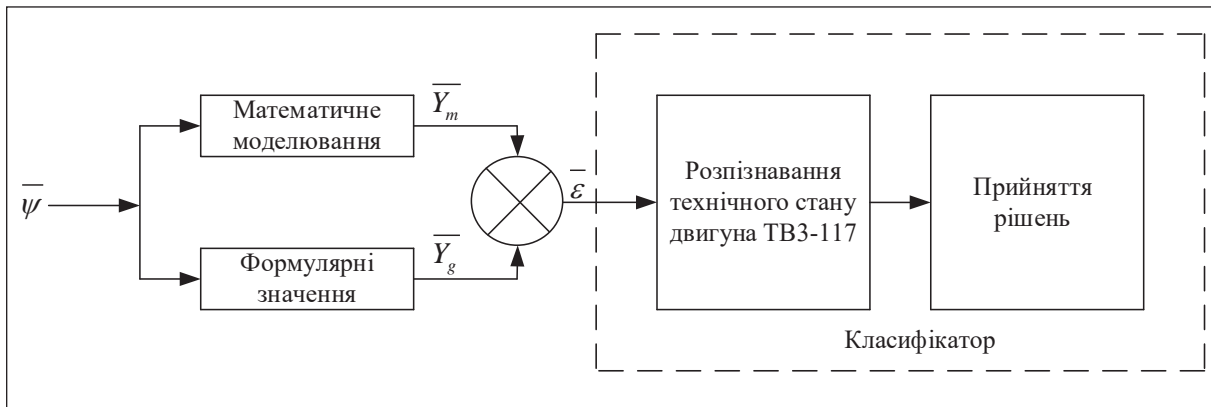


Рис. 1. Реалізація FDI-методу

ний технічний університет) [4–6], присвячені контролю й діагностиці технічного стану авіаційних газотурбінних двигунів на основі інтелектуального аналізу даних.

Незважаючи на значний обсяг досліджень у зазначених галузях, інформаційні технології ідентифікації технічного стану авіаційних двигунів не є досконалими з низки причин, основними з яких є, з одного боку, роз'єднаність баз даних випробувань, контролю та діагностики, відсутність інтелектуальних компонентів, що дозволяють якісно й ефективно здійснювати підтримку прийняття відповідальних рішень і зменшувати загальний час, що витрачається на обслуговування двигуна, а з іншого боку – нестаціонарність фізичних процесів в авіаційному двигуні, складність його математичного опису, залежність технічних характеристик двигуна від зовнішніх умов роботи, обмежений склад вимірюваних газодинамічних параметрів двигуна тощо. Зазначені фактори призводять до необхідності прийняття рішень про технічний стан двигуна в умовах істотної невизначеності [7].

Постановка завдання. Ефективний інструмент для подібного моделювання дає теорія нечітких множин. Наразі нечітка логіка розглядається як стандартний метод моделювання та проектування. Системи на нечітких множинах розроблені й успішно впроваджені в таких галузях, як медична діагностика, технічна діагностика, фінансовий менеджмент, управління персоналом, біржове прогнозування, розпізнавання образів, виявлення шахрайства, управління комп'ютерними мережами, управління технологічними процесами, управління транспортом, логістика, пошук інформації, радіозв'язок та телебачення. Спектр додатків дуже широкий: від побутових відеокамер, пилососів і пральних

машин – до засобів наведення ракет протиповітряної оборони й управління бойовими вертольотами й літаками. Практичний досвід розроблення систем на нечітких множинах свідчить, що терміни й вартість їх проектування значно нижчі, ніж під час використання традиційного математичного апарату. При цьому забезпечуються необхідні рівні якості [8].

Виклад основного матеріалу дослідження. В основу ідеології інформаційної системи ідентифікації показників технічного стану двигуна ТВ3-117 пропонується покласти використання методу FDI (Fault Detection and Identification), який базується на порівнянні результатів вимірювань газодинамічних показників у режимі реального часу з формулярними [9].

На рис. 1 позначено так: $\bar{\psi}$ – 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; $\bar{\varepsilon} = \bar{Y}_g - \bar{Y}_m$ – незв'язування, яке отримане у процесі покомпонентного порівняння векторів \bar{Y}_g і \bar{Y}_m .

У процесі реалізації цього методу необхідно вирішити такі задачі:

- розроблення й програмна реалізація моделі авіаційного двигуна;
- обчислення незгодженості (незв'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 в сукупності виконує функцію класифікатора.

У роботі пропонується алгоритм вирішення задач ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 за результатами моделювання

газодинамічних процесів із використанням експертної системи, що включає в себе виконання такої послідовності кроків:

- формалізація й адаптація компонентної семантичної моделі двигуна в середовищі бази концептуальних знань;
- формалізація й адаптація методу діагностування в середовищі експертної системи;
- розроблення інтерфейсу між базою даних випробувань і внутрішньою базою даних на основі імпорту – експорту файлів;
- розроблення (наповнення) баз експертних знань шляхом вирішення «прямих» завдань ідентифікації (побудова причинно-наслідкових зв'язків у вигляді продукцій-правил);
- розроблення (наповнення) експертних баз знань шляхом розв'язання обернених задач ідентифікації (за результатом знайти причину);
- розроблення баз нечітких правил у середовищі баз концептуальних знань;
- приведення векторів розрахункових (за моделлю) 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.

Під час реалізації запропонованого методу в середовищі експертної системи можна використовувати підхід до адаптації математичної моделі авіаційного двигуна в базі знань до індивідуального авіаційного двигуна (з урахуванням даних, що характеризують його паспортні значення), але при цьому необхідний аналіз значних обсягів апріорної інформації, пов'язаної з випробуваннями й експлуатацією подібних діагностованих двигунів.

Налаштування (підгонка коефіцієнтів) математичної моделі на індивідуальний двигун передбачає використання методу порівняння [10], суть якого полягає в мінімізації незв'язувань між формулярними параметрами й параметрами, обчисленими за математичною моделлю, шляхом послідовних ітерацій (налаштування коефіцієнтів поправок для всіх вимірюваних і обчислюваних величин).

Послідовність кроків, характерних для адекватного уявлення середньостатистичної математичної моделі в середовищі бази знань пропонованої експертної системи, є такою.

1. Результати випробувань декількох бездефектних двигунів із 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 під час 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 й інші статистичні оцінки, аналіз яких дозволяє виявити грубі помилки й 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 й визначаються параметри стану, що змінюються в результаті появи цих дефектів (оскільки різні несправності можуть призводити до зміни одного й того самого 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 ТВ3-117 за необхідністю імітуються різні дефекти шляхом зміни параметрів стану й розраховуються відповідні їм ознаки стану (пряма задача).

7. Проводиться ідентифікація математичної моделі газодинамічних процесів двигуна ТВ3-117 у рамках FDI-методу за результатами випробування діагностованого двигуна, при цьому вхідною інформацією для ідентифікації є ознаки стану, виміряні під час випробувань (відомості з бази даних випробувань), а вихідною інформацією – параметри стану (зворотна задача); отримані значення параметрів стану порівнюються з формулярними значеннями цих параметрів для бездефектного двигуна, а в результаті робиться висновок про наявність відповідних несправностей.

Для підвищення точності ідентифікації параметрів технічного стану двигуна ТВ3-117 за розробленою математичною моделлю можна використовувати два підходи:

- по-перше, математичну модель можна замінити індивідуальною, тобто для кожного екземпляра двигуна корегувати еталонну модель шляхом ідентифікації останньої за результатами поточних випробувань (уточнюються параметри стану, які

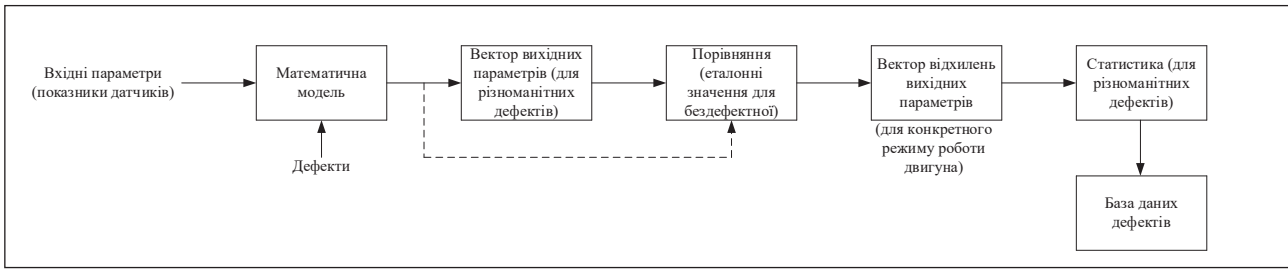


Рис. 2. Схема процесу формування бази даних дефектів

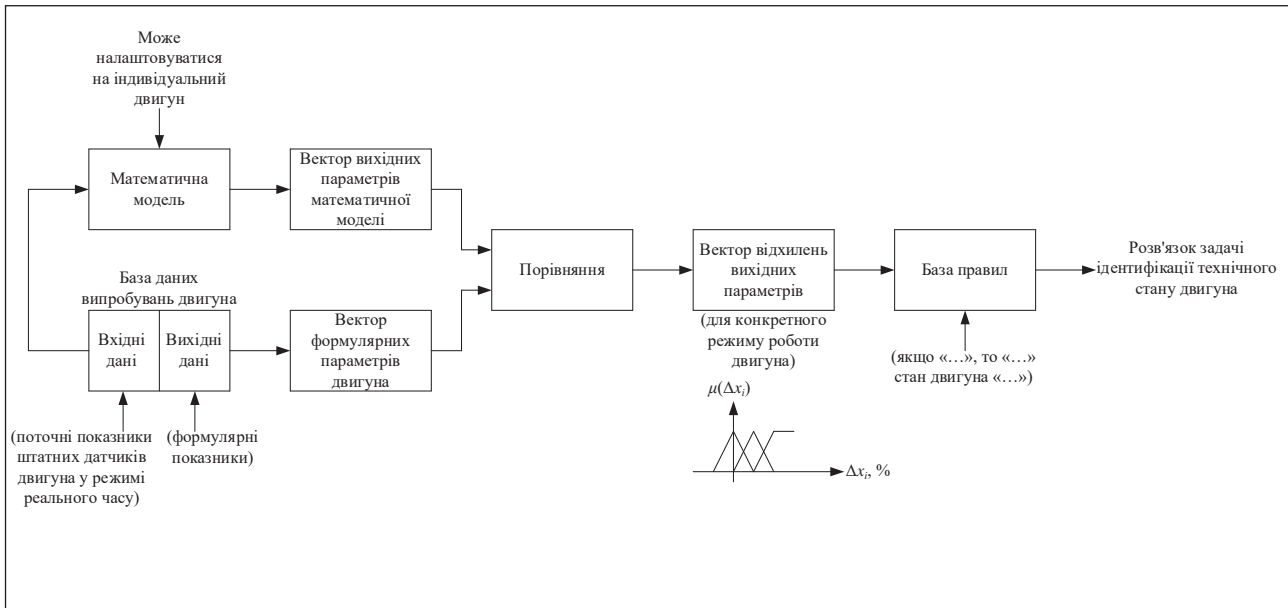


Рис. 3. Схема реалізації FDI-методу в середовищі експертної системи з прийняттям рішення на основі нечіткої логіки

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.

Критерії ефективності ідентифікації математичної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 в середовищі експертної системи можуть бути представлені у такому вигляді [11]:

$$\delta_p = \frac{1}{m_z} \sum_{ij} (P_{I_i} - P_{M_i})^2; \quad (1)$$

де P_{I_i} , P_{M_i} – відповідно виміряні в режимі реального часу й формулярні значення параметрів авіаційного двигуна ТВ3-117; $I = \overline{1, m}$, де m – число виміряних параметрів двигуна; $i = \overline{1, n}$, де n – число формулярних параметрів двигуна.

Компонентна математична модель у розрахунково-логічній експертній системі в узагальненому вигляді може бути представлена так:

$$Z_{\xi, k}^*(t) = P_{\xi, k}(\tilde{Z}_{\xi}(t), R_k, Q_k, S_k, T_k); \quad (2)$$

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

На рис. 2 наведено процес формування (наповнення) баз даних дефектів, а також реалізацію FDI-методу в середовищі експертної системи, при цьому в процесі формування бази даних дефектів мається на увазі, що користувач попе-

Порівняльний аналіз ефективності ідентифікації параметрів технічного стану двигуна

Метод [12]	Імовірність розпізнавання стану двигуна				P_{Σ}^N	P_{Σ}^H	δ
	P_i^N	P_i^H	P_i^N	P_i^H			
Діагностичних матриць	1,0	0	0,9	0,1	0,95	0,05	1,0
Розв'язку системи нормальних рівнянь	1,0	0	0,8	0,2	0,90	0,1	2,0
Нелінійної оптимізації критерію технічного стану	1,0	0	0,9	0,1	0,95	0,05	1,0
Порівняння на основі МНК	0	1,0	0	1,0	0	1,0	4,0
Порівняння на основі МНМ	0,6	0,4	0,23	0,77	0,415	0,585	3,0

редньо «налаштував» сформовану ним з окремих понять (компонентів) у концептуальній базі знань математичну модель на індивідуальний двигун. У процесі роботи із цією компонентною математичною моделлю він на етапі її адаптації в середовищі експертної системи за відомими вхідних параметрів формує еталонний вектор даних, що характеризують бездефектний стан останньої. Еталонний вектор даних зберігається у вбудованій базі даних експертної системи у вигляді атрибутів значення. Далі вирішується «пряма» задача: за відомим дефектом знаходяться відхилення від еталонного стану. Для цього користувачем до компонентів математичної моделі вносяться характерні дефекти. Розрахунки, проведені ним за математичною моделлю з попередньо внесеними дефектами, формують на її виході відповідний вектор параметрів, порівняння якого з еталонним дає вектор відхилень (факти), що в якості статистичного матеріалу заповнює базу даних дефектів.

Реалізація FDI-методу в середовищі експертної системи, яка наведена на рис. 3, передбачає вирішення «оберненої задачі»: за вектором відхилень на конкретному режимі роботи двигуна здійснюється ідентифікація дефекту з прийняттям відповідного рішення. Для цього дані з бази даних випробувань двигуна (вхідні параметри) подаються на вхід компонентної математичної моделі, а потім порівнюються вектори вихідних параметрів моделі, які отримуються із поточних показників штатних датчиків двигуна в режимі реального часу й формулярних показників, попередньо оброблених і записаних у базу даних випробувань. У результаті виходить вектор відхилень, аналіз якого базою нечітких правил експертних систем формує відповідне рішення про фактичний технічний стан авіаційного двигуна з рекомендаціями щодо його експлуатації. Таким чином, розроблена математична модель газодинамічних процесів двигуна є інформаційним

каналом для передачі діагностичної інформації щодо його технічного стану.

Алгоритм ідентифікації параметрів технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 полягає в такому: $\{Y\}$ – множина можливих технічних станів авіаційного двигуна, характеризується підмножинами $y_j \in Y$ еталонних векторів ідентифікаційних ознак \widehat{F}_i (j – порядковий номер технічного стану; i – порядковий номер еталонного вектора технічного стану: $\widehat{F}_i \in Y$, де $i = 1 \dots N$ – загальне число еталонних векторів, які становлять множину технічних станів двигуна Y).

Передбачається, що узагальнена лінійна функція, що відділяє одну з підмножин y_j технічного стану двигуна від сукупності всіх інших підмножин його технічного стану, має такий вигляд:

$$L_j = \sum_{n=1}^N d_n f(F_i, \widehat{F}_n); \quad (3)$$

$$\text{де } d_n = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \widehat{F}_n \in y_j \\ -1, \text{ якщо } \widehat{F}_n \notin y_j \end{cases}, f(F_i, \widehat{F}_n) = e^{-\|F_i - \widehat{F}_n\|^2}, y_j \in y' -$$

редукована множина технічних станів двигуна, отримана з початкової множини Y шляхом відбору його елементів (еталонних векторів \widehat{F}_i).

Для вектора \widehat{F}_i із множини Y установлюється однозначний йому вектор \widehat{F}_n множини y' $\widehat{F}_i \equiv \widehat{F}_n$ тільки тоді, коли величина τ_i , що розраховується за рекурентним співвідношенням, відмінна від нуля:

$$\tau_i = \frac{1}{2} b_i \{1 - b_i \operatorname{sgn}(a(\widehat{F}_{i-1}))\}; \quad (4)$$

де

$$a(\widehat{F}_{i-1}) = a(\widehat{F}_{i-2}) + \tau_{i-1} e^{-\|F_i - \widehat{F}_{i-1}\|^2},$$

$$a\widehat{F}_i = e^{-\|F_i - \widehat{F}_i\|^2}, b_i = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \widehat{F}_i \in y_j \\ -1, \text{ якщо } \widehat{F}_i \notin y_j \end{cases},$$

$$\operatorname{sgn}(a\widehat{F}_{i-1}) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } a(\widehat{F}_{i-1}) > 0 \\ -1, \text{ якщо } a(\widehat{F}_{i-1}) \leq 0 \end{cases}.$$

Вирішальне правило розпізнавання j -го технічного стану двигуна має такий 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 $L = 0$, то технічний стан двигуна не визначений.

Запропонований спосіб розв'язку задач ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі FDI-методу передбачає (на відміну від класичних методів, які використовують жорсткі допуски на контрольовані й ідентифіковані параметри, а також жорсткі межі варіювання коефіцієнтів, що погоджує експериментальні та розрахункові дані на етапах локалізації дефектів у двигуні) застосування правил нечіткої логіки, заснованих на адаптації розрахункової математичної моделі реального двигуна з урахуванням конкретних зовнішніх умов, а також знань і досвіду експертів для прийняття правильних рішень про технічний стан двигуна.

Ефективність ідентифікації технічного стану двигуна ТВ3-117 у рамках FDI-методу багато в чому залежить від ефективності використовуваного методу [12]: діагностичних матриць, розв'язку системи нормальних рівнянь, нелінійної оптимізації критерію технічного стану, порівняння на основі методу найменших квадратів (далі – МНК), порівняння на основі методу найменших модулів (далі – МНМ).

Порівняльний аналіз ефективності ідентифікації параметрів технічного стану двигуна (за умови прийняття гіпотези про найбільш імовірне виникнення дефекту в обмеженій кількості вузлів) під час використання методу діагностичних матриць і інших методів наведений у табл. 1.

У табл. 1 P_i^n , P_i^H – імовірність правильного й помилкового розпізнавання стану двигуна ($i = 1, 2$); $P_{\Sigma}^n = \frac{1}{2} \sum P_i^n$; $P_{\Sigma}^H = \frac{1}{2} \sum P_i^H$; δ – оцінка ефективності методу в балах, причому при $\delta = 1$ – найвища ефективність, при $\delta = 4$ – найнижча ефективність.

Аналіз ефективності ідентифікації параметрів технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 методами, наведеними в табл. 1, показує, що 100% розпізнавання двигуна забезпечується трьома першими методами за наявності одного дефектного вузла. Якщо таких вузлів два, то 100% розпізнавання не забезпечується жодним із методів. Застосування в експертній системі баз нечітких правил підвищує достовірність правильної ідентифікації технічного стану двигуна.

Таким чином, метод ідентифікації параметрів технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 і його підсистем на базі експертної системи має певні кроки.

1. Формалізація й адаптація компонентної математичної моделі двигуна та її підсистем у базі концептуальних знань.

2. Налаштування математичної моделі та її підсистем на індивідуальний або середній у парку двигун (підсистему).

3. Формування графі причинно-наслідкових зв'язків.

4. Імітація дефектів на математичній моделі (отримання векторів вихідних параметрів для різних проявів дефектів).

5. Отримання вектора відхилень (у процесі покомпонентного порівняння між векторами вихідних параметрів для різних дефектів і формулярних значень для бездефектної математичної моделі).

6. Формування бази нечітких правил на основі аналізу статистики проявів різних відмов.

7. Тестування бази знань експертної системи.

8. Розв'язання задачі ідентифікації параметрів технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 і його підсистем (класифікація відмов, прийняття рішення про технічний стан двигуна та його підсистем).

Висновки. У роботі запропоновано метод побудови математичної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі розширеної семантичної мережі, що дозволяє шляхом реконфігурації математичної моделі й адаптації її характеристик до індивідуального двигуна вирішувати широкий спектр задач контролю та діагностики технічного стану авіаційного двигуна; алгоритм контролю й діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі модифікованого методу діагностичних матриць і правил нечіткої логіки, застосування якого дозволяє ефективно і якісно здійснювати ідентифікацію технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117.

Застосування методів теорії нечітких множин для ідентифікації математичних моделей авіаційного двигуна ТВ3-117 є подальшим розвитком напряму математичного моделювання авіаційних двигунів.

Елементи нечіткої логіки доцільно використовувати спільно з нейронними мережами. Тому з'являється перспектива розвитку апарата гібридних мереж, в яких висновки робляться на основі апарата нечіткої логіки, але відповідні функції приналежності налаштовуються з використанням алгоритмів навчання нейронних мереж. Такі системи не тільки використовують апріорну інформацію, але й можуть набувати нові знання, а для користувача є логічно прозорими. На їхній основі можна робити нечіткі експертні та керуючі системи адаптивними, корегуючи по мірі роботи системи правила й параметри функцій приналежності.

Список літератури:

1. Машошин О.Ф., Зонтов Г.С. Диагностика авиационного газотурбинного двигателя по наличию вредных примесей в системе кондиционирования воздуха. Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 205. С. 44–48.
2. Машошин О.Ф. Оценка диагностической ценности информации при решении задач в области эксплуатации авиационной техники. Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 219. С. 53–56.
3. Машошин О.Ф., Кармызов М.В., Макаров В.П. Алгоритм оценки вибросостояния газотурбинных двигателей с использованием элементов теории математической статистики. Научный вестник МГТУ ГА. 2008. № 135. С. 28–33.
4. Жернаков С.В. Тренд-анализ параметров авиационного ГТД на основе технологии нейронных сетей. Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15. № 4 (44). С. 25–32.
5. Жернаков С.В., Иванова Н.С., Равилов Р.Ф. Контроль и диагностика технического состояния масляной системы ГТД с использованием технологии нейронных сетей. Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16. № 2 (47). С. 210–220.
6. Жернаков С.В., Васильев В.И., Муслухов И.И. Бортовые алгоритмы контроля параметров ГТД на основе технологии нейронных сетей. Вестник УГАТУ. 2009. Т. 12. № 1 (30). С. 61–74.
7. Пивоваров В.А., Машошин О.Ф. Применение аппарата теории статистической классификации к задачам диагностирования авиационной техники. Научный вестник МГТУ ГА. 1999. № 20. С. 25–30.
8. Єнчев С.В., Товкач С.С. Діагностування технічного стану авіаційних двигунів на основі нечіткої логіки. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. 2013. № 1 (8). С. 216–224.
9. 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.
10. Таран Е.М. Универсальный метод согласования математической модели ГТД с результатами испытаний. Испытания авиационных двигателей. 1986. № 14. С. 63–70.
11. Дегтярев Ю.Д., Гумеров Х.С., Юлдыбаев Л.Х. Сравнение методов идентификации математических моделей ГТД. Испытания авиационных двигателей. 1981. № 9. С. 98–104.
12. Гишваров А.С., Приб И.В., Жернаков В.С. Математическое моделирование рабочих процессов газотурбинных энергетических установок. Труды АН Республики Башкортостан. Отделение «технические науки». 2002. С. 212–229.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117

В работе применяется известный подход построения нечеткой экспертной системы для оценки технического состояния узлов авиационного двигателя ТВ3-117. Предложен алгоритм контроля и диагностики технического состояния двигателя на основе модифицированного метода диагностических матриц и правил нечеткой логики. Разработанная инженерная методика может быть применена на этапе летной эксплуатации авиационного двигателя ТВ3-117.

Ключевые слова: контроль, диагностика, нечеткая логика, база данных, авиационный двигатель.

APPLICATION OF THE RULES OF URBAN LOGIC IN THE PROBLEM OF IDENTIFICATION OF THE TECHNICAL STATE OF THE AVIATION ENGINE TV3-117

The well-known approach to building a fuzzy expert system for assessing the technical state of the aviation engine nodes TV3-117 is used in the work. The algorithm of control and diagnostics of the technical condition of the engine based on the modified method of diagnostic matrices and rules of fuzzy logic is proposed. The developed engineering technique can be applied at the stage of flight operation of aviation engine TV3-117.

Key words: control, diagnostics, fuzzy logic, database, aviation engine.