

УДК 629.7.036.3

Ю. М. Чоха, канд. техн. наук, доц.
О. П. Федорчук, асп.**ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СИЛОВИХ
УСТАНОВОК КОМБІНОВАНИМ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕСТОВИМ МЕТОДОМ**

НАУ, Аерокосмічний інститут, E-mail: akiweb@nau.edu.ua

*Розглянуто прикладні методики застосування комбінованого функціонально-тестового методу ідентифікації технічного стану функціональних систем силових установок, у яких використовуються математичні діагностичні моделі динаміки зміни контрольованих параметрів.**They Are Considered applied methodises of the using multifunction function-test method to identifications of the technical condition of the functional systems of the power unit, in which are used mathematical diagnostic models speakers change controlled parameter.***Вступ**

Ефективна експлуатація сучасних силових установок значною мірою забезпечується впровадженням автоматизованих систем діагностування (АСД) їх поточного технічного стану.

Ураховуючи ту обставину, що функціональні системи, які забезпечують роботу газотурбінних двигунів (ГТД), зокрема системи змащування опор ротора та приводів агрегатів, паливопостачання, автоматичного керування, запуску двигуна, контролю вібростану та інші, через незначну кількість контрольованих параметрів належать до типу об'єктів з низьким рівнем контролепридатності, здійснення оперативної поточної оцінки їх технічного стану за даними параметричної інформації досить проблематичне і не дозволяє застосувати для них АСД і стратегію експлуатації за технічним станом (ТС) з контролем параметрів.

Метод оцінювання технічного стану функціональних систем силових установок з використанням математичних діагностичних моделей

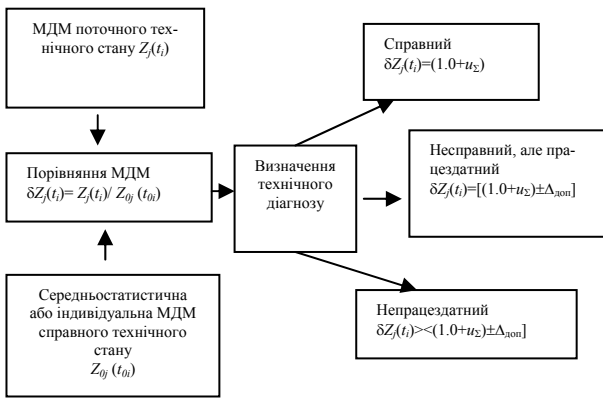
Одним з можливих практичних підходів до підвищення ефективності існуючих штатних систем контролю та реєстрації параметрів сучасних силових установок є розроблення і використання розрахунково-аналітичних алгоритмів математичних діагностичних моделей робочих процесів функціональних систем силових установок в середовищах АСД (наприклад, в експертних системах діагностування – ЕСД). Діагностичні властивості цих моделей визначаються тим, що вони дозволяють задавати як еталонні значення параметрів, що характеризують початковий (справний) стан функціональних систем і двигуна, так і такі значення параметрів, що характеризують ступінь розвитку характерних експлуатаційних несправностей конструктивних вузлів і агрегатів

силових установок, тобто змоделювати набір «портретів» несправностей силових установок конкретного типу. Це дає змогу реального застосування комбінованого функціонально-тестового (КФТ) [1] методу ідентифікації несправностей вузлів ГТД і функціональних систем, що забезпечують його роботу. При цьому КФТ метод базується на використанні методу умовного порівняння математичної діагностичної моделі (МДМ) справного (еталонного) ТС об'єкта діагностування з МДМ його поточного технічного стану [2], методики оцінювання його поточного ТС за значеннями комплексного діагностичного параметра (КДП) та ідентифікації поточних несправностей за тестовими знако-амплітудними матрицями («портретами») заздалегідь змодельованих характерних пошкоджень (дефектів) або відмов типових силових установок.

Математична модель умовного порівняння МДМ поточного ТС ($Z_j(t_i)$) з еталонною МДМ справного ТС ($Z_{0j}(t_0)$) об'єкта діагностування має такий вигляд:

$$\delta Z_j(t_i) = \frac{Z_j(t_i)}{Z_{0j}(t_0)} = \sum_{i=1}^n a_j(R_r) \delta x_i + \sum_{i=1}^n b_j(R_r) \delta y_i + u_{\Sigma}, \quad (1)$$

де $a_j(R_r)$, $b_j(R_r)$ – оператори функцій зміни відповідно виміряних та розрахованих параметрів; δx_i , δy_i , – відносні відхилення поточних значень відповідно виміряних та розрахункових контрольованих параметрів (діагностичних ознак) об'єкта контролю і діагностування від їх початкових (еталонних) значень, що відповідають заданим технічним умовам (ТУ); u_{Σ} – сумарна похибка вимірювання (розрахунку) i -го параметра; t_i – час напрацювання (календарний строк) регулярної експлуатації даного об'єкта у момент проведення його діагностування.



Структурна схема діагностування технічного об'єкта експлуатації КФТ методом

Практична реалізація КФТ методу щодо оцінки технічного стану об'єкта експлуатації здійснюється за схемою, показаною на рисунку. При цьому, якщо поточний ТС об'єкта, що діагностують, незначно відрізняється від його початкового ТС, то $\delta Z_j(t_i) = (1,0 + u_\Sigma)$, а одержане розсіювання виміряних (розрахованих) значень параметрів цього екземпляра об'єкта експлуатації буде обумовлюватись лише сумарними похибками вимірювання (розрахунку) цих параметрів за умови адекватності використовуваної МДМ, а вид технічного діагнозу оцінює «справний» ТС цього екземпляра об'єкта. У випадку невідповідності поточних значень контрольованих параметрів їх початковим (еталонним) значенням, але в межах допустимих діапазонів їх зміни, $\delta Z_j(t_i) = [(1,0 + u_\Sigma) \pm \Delta_{доп}]$, тобто фіксується наявність невідповідності значень параметрів, яке обумовлено появою та розвитком несправності цього екземпляра об'єкта експлуатації, але не привело до втрати його працездатності, тобто вид технічного діагнозу оцінює його «несправний, але працездатний» ТС. У разі виходу поточних значень контрольованих параметрів за межі припустимих діапазонів їх зміни, коли $\delta Z_j(t_i) > [(1,0 + u_\Sigma) \pm \Delta_{доп}]$, фіксується наявність такого невідповідності значень параметрів, яке обумовлено значним розвитком несправності цього екземпляра об'єкта експлуатації, що може оцінюватись як втрата працездатності і межує з відмовою цього об'єкта у будь-який момент його подальшої роботи, тобто вид технічного діагнозу оцінює «непрацездатний» ТС такого об'єкта і небезпеку його подальшої експлуатації.

У разі контролювання роботи функціональних систем силових установок штатними вбудованими системами прямого вимірювання реєструється певна сукупність значень параметрів, що ха-

рактеризують їх роботу як в цілому, так і окремих конструктивних вузлів (елементів). Так, наприклад, в системі змащування ГТД вимірюється і контролюється за приладами лише два основні параметри – тиск мастила на вході в систему за помпою нагнітання (P_M) і його температура на виході з опор двигуна (T_M), а на деяких ГТД контролюється ще й кількість мастила у маслобачі (G_M) та сигналізується поява металевої стружки в мастилі. На всі контрольовані параметри встановлюються експлуатаційні діапазони допустимих значень за режимами роботи ГТД.

Оскільки розвиток несправностей авіадвигуна відбувається поступово, зафіксувати їх появу на ранніх стадіях можна лише при контролюванні динаміки зміни поточних значень контрольованих параметрів порівняно з початковими їх значеннями, зафіксованими у формулярі двигуна. У цьому випадку математична модель динаміки зміни параметрів системи змащування ГТД матиме вигляд:

$$\begin{cases} \delta P_{M\text{ пот.}}(t_i) = \frac{P_{M_i}(t_i)}{P_{M_0}(t_0)} = 1,0 \pm \left(\delta P_{M\text{ вим.}} + \frac{dP_{M_i}}{dt_i} \Delta t_i \right), & (2) \\ \delta T_{M\text{ пот.}}(t_i) = \frac{T_{M_i}(t_i)}{T_{M_0}(t_0)} = 1,0 \pm \left(\delta T_{M\text{ вим.}} + \frac{dT_{M_i}}{dt_i} \Delta t_i \right), & (3) \\ \delta G_{M\text{ год.пот.}}(t_i) = \frac{G_{M\text{ год.}i}(t_i)}{G_{M\text{ год.}0}(t_0)} = 1,0 \pm \left(\frac{\delta G_{M\text{ год.вим.}}}{G_{M\text{ год.}0}(t_0)} + \frac{dG_{M\text{ год.}i}}{dt_i} \Delta t_i \right), & (4) \end{cases}$$

де $P_{M_0}(t_0)$, $T_{M_0}(t_0)$, $G_{M\text{ год.}0}(t_0)$ – зафіксовані у формулярі на початку експлуатації двигуна відповідно тиск, температура та годинна витрата мастила; $P_{M_i}(t_i)$, $T_{M_i}(t_i)$, $G_{M\text{ год.}i}(t_i)$ – зареєстровані на відповідному режимі поточні значення відповідно тиску, температури і годинної витрати мастила; $\delta P_{M\text{ вим.}}$, $\delta T_{M\text{ вим.}}$, $\delta G_{M\text{ год. вим.}}$ – відносна величина похибок системи вимірювання відповідно тиску, температури і годинної витрати мастила типового ГТД.

До системи (2)–(4) варто було б додати і рівняння динаміки зміни величини вибігу ротора турбокомпресора, значення якого постійно повинно контролюватись екіпажем повітряного корабля після виключення ГТД:

$$\begin{aligned} \delta \tau_{\text{рот.пот.}i}(t_i) &= \frac{\tau_{\text{рот.пот.}i}(t_i)}{\tau_{\text{рот.}0}(t_0)} = \\ &= 1,0 \pm \left(\delta \tau_{\text{рот.вим.}} \right) - \frac{d\tau_{\text{рот.}i}}{dt_i} \Delta t_i, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\tau_{\text{рот.}0}(t_0)$, $\tau_{\text{рот.}i}(t_i)$ – зареєстрований час вибігу ротора відповідно на початку експлуатації і в будь-який поточний час експлуатації двигуна;

$\delta\tau_{\text{рот. вим}}$ – відносна величина похибки вимірювання вибігу ротора ГТД.

Але під час вимірювання цього параметра виявляється значна частка суб'єктивізму, хоча якщо цей процес автоматизувати, то це буде потужний інформативно-діагностичний параметр ГТД.

Якщо згрупувати певним чином окремі динамічні показники зміни контрольованих параметрів, то можна отримати комплексний діагностичний показник системи змащування ГТД ($Q_{M\Sigma}(t_i)$), який може мати наступний вигляд:

$$Q_{M\Sigma}(t_i) = \frac{\delta P_{M,i}(t_i)}{\delta T_{M,i}(t_i)} \cdot \frac{\delta \tau_{\text{рот.}i}(t_i)}{\delta G_{M.г.г.i}(t_i)}. \quad (6)$$

Враховуючи те, що на деяких типах ГТД використовується система контролю вібростану роторів ГТД, то і цей показник можна моделювати аналогічно, тобто

$$\begin{aligned} \delta V_{\text{пот.}i}(t_i) &= \frac{\delta V_{\text{пот.}i}(t_i)}{V_0(t_0)} = \\ &= 1,0 \pm (\delta V_{\text{вим}}) + \frac{dV_i(t_i)}{dt_i} \Delta t_i, \end{aligned} \quad (7)$$

де $V_0(t_0)$, $V_{\text{пот.}i}(t_i)$ – зареєстрована величина швидкості вібрації ГТД відповідно на початку експлуатації і в будь-який поточний час експлуатації двигуна; $\delta V_{\text{вим}}$ – відносна величина похибки вимірювання швидкості вібрації ГТД.

Додаючи рівняння (7) до системи рівнянь (2)–(5), одержимо комплексну математичну модель динаміки зміни параметрів кількох взаємозв'язаних функціональних систем, що забезпечують роботу типового ГТД, зокрема систем змащування, суфлювання, контролю вібростану, які можна характеризувати узагальненим комплексним діагностичним показником вигляду:

$$D_{p\Sigma}(t_i) = \frac{\delta P_{M,i}(t_i) \delta \tau_{\text{рот.}i}(t_i) \delta V_{\text{пот.}i}(t_i)}{\delta T_{M,i}(t_i) \delta G_{M.г.г.i}(t_i)}. \quad (8)$$

Звичайно одержані аналітичні вирази математичних моделей функціональних систем авіаційного ГТД (2)–(8) потребують детального обґрунтування та перевірки на адекватність, проте слід сподіватись на доцільність і практичну ефектив-

ність їх використання для більш глибокої оцінки технічного стану функціональних систем, що забезпечують роботу ГТД, у процесі експлуатації.

За аналогічною методикою можна побудувати динамічні математичні моделі робочих процесів інших функціональних систем, таких як системи запуску, автоматичного паливорегулювання, керування гідромеханічними та електромеханічними пристроями повороту НА компресорів і роботи клапанів перепуску повітря компресорів ГТД. Це досить копітка робота, яка потребує окремих досліджень, проте й вона може бути успішною в разі застосування запропонованої методики побудови МДМ.

Висновки

Таким чином, побудова і використання методик математичного моделювання робочих процесів проточної частини різнотипових ГТД та функціональних систем, що забезпечують їх роботу, мають широкий діапазон практичного застосування без додаткового дообладнання конструкцій сучасних ГТД спеціально вбудованими датчиками системи вимірювання параметрів. При цьому математичні діагностичні моделі дозволяють значною мірою розширити інформаційно-діагностичну базу авіаційних силових установок, що приводить до збільшення рівня їх контролепридатності, експлуатаційної технологічності, а отже, і до поліпшення ефективності штатних систем контролю та діагностування без проведення спеціальних конструктивних удосконалень.

Література

1. *Дмитриев С. А., Чоха Ю. Н.* Методика применения функционально-тестового метода идентификации неисправности ТРДД в среде динамической ЭСД / *Вестн. двигателестроения.* – Запорожье: ОАО «Мотор-Січ», 2004. – №2. – С. 173–176.
2. *Ахмедзянов А. М., Дубравский Н. Г., Тунаков А. П.* Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. – М.: Машиностроение, 1983. – 206 с.

Стаття надійшла до редакції 05.03.07.