

УДК 629.753.083.06:075.8

Ю.М. Чоха, канд. техн. наук

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ «ДІАГНОЗ – ЯКІСТЬ – НАДІЙНІСТЬ»

НАУ, кафедра збереження льотної придатності авіаційної техніки, e-mail: zlp@nau.edu.ua

*Обґрунтовано концептуально новий підхід до процесу діагностування газотурбінних двигунів з використанням комплексних діагностичних показників якості та надійності для прийняття експлуатаційного рішення.*

### Вступ

До пріоритетних науково-технічних проблем, які породжуються практикою проектування, виробництва й використання за призначенням технічних виробів і складних динамічних систем, належать проблеми пошуку методів і розроблення оптимальних технологій керування якістю технічного стану (ТС) і надійністю функціонування (НФ) цих виробів (систем) [1].

Зважаючи на бурхливий розвиток інтелектуальних інформаційних технологій у вигляді експертних систем, значно зросла актуалізація зацікавленості дослідників та інженерів до вирішення зазначених проблем у промисловості, на транспорті, військовій справі та інших прикладень наукоємних технологій ресурсозбереження [2].

Відомі методи досліджень зазначених проблем мають суттєві недоліки:

- використання, як правило, скалярних діагностичних ознак і частіше за інший час напрацювання виробів, що значно обмежує можливості керування їх поточним станом;
- недостовірний контроль та діагностування якості ТС і НФ;
- неефективне використання можливостей сучасних ЕОМ та інтелектуальних інформаційних технологій;
- негнучке використання ресурсів, оптимальних технологій експлуатації виробів за ТС, при яких поточний ТС визначається не лише за часом напрацювання, але й у багатовимірному просторі діагностичних параметрів і ознак;
- застосування математичних моделей і методик, які неадекватно або з низькою точністю описують реальні процеси динаміки зміни якості і надійності виробів у процесі їх застосування за призначенням.

Подолання цих недоліків набуло значної важливості для виробів авіаційної і космічної техніки. Особливої актуальності проблема керування якістю ТС і НФ у процесі експлуатації набула для таких функціонально важливих складних динамічних об'єктів, як авіаційні ГТД, в яких деградаційні процеси та відмови конструктивних складових створюють небезпечні посилення до виникнення льотних подій та значною мірою впливають на безпеку, регулярність і соціально-економічну ефективність польотів [3; 4].

Саме в такому сенсі треба розуміти запропоновану автором математичну модель поточної оцінки динаміки якості ТС і НФ авіаційних двигунів, яка дозволяє використовувати її як базову для принципово нових інтелектуальних систем поточного контролю і діагностування типу «діагноз–якість–надійність».

### Базова багатовимірна математична модель оцінки динаміки технічного стану газотурбінних двигунів

Будемо вважати, що існує кореляційний зв'язок між поточними значеннями діагностичних ознак (параметрів), які вимірюються (розраховуються) за алгоритмом комплексного контрольно-розрахункового (ККР) методу системою контролю і діагностування під час роботи ГТД [5], і показниками якості ТС  $W_S$  та надійності функціонування  $P_S$ . Причому цей зв'язок здійснюється через поточні значення комплексного діагностичного показника (КДП)  $K_{\Sigma}$  двигуна та час його напрацювання  $\Delta t_i$  з початку експлуатації або після останнього ремонту. Якщо вважати, що у початковий момент регулярної експлуатації ГТД  $t_0$ , значення його КДП  $K_{\Sigma 0}(t_0) \approx 1,0$ , що свідчить про заздалегідь визначений початковий („справний“) ТС двигуна, то йому відповідають початкові значення показника якості ТС  $W_{S0} [K_{\Sigma 0}(t_0)] \approx 1,0$  та показника НФ  $P_{S0} [K_{\Sigma 0}(t_0)] \approx 1,0$ . У період регулярної експлуатації ГТД значення  $K_{\Sigma i}$  змінюється, що характеризує деградацію його ТС через появу і розвиток експлуатаційних несправностей конструктивних вузлів (елементів) проточної частини. При цьому зміна значень  $K_{\Sigma i}$  може відбуватись у різних напрямках від початкової величини  $K_{\Sigma 0}(t_0)$ , залежно від місця появи несправності (вузлів „холодної“ чи „гарячої“ частини ГТД) [5]. Отже, у загальному випадку при значеннях

$$K_{\Sigma i}(t_i) = K_{\Sigma 0}(t_0) \pm \Delta K_{\Sigma \text{ВІМ}} = 1,0 \pm \Delta K_{\Sigma \text{ВІМ}},$$

де  $\Delta K_{\Sigma \text{ВІМ}}$  – допуск на величину систематичної похибки вимірювань штатної системи контролю параметрів ГТД, технічний стан проточної частини ГТД вважається „справним“, тобто поточні значення діагностичних параметрів двигуна відповідають заданим технічним умовам.

При значеннях

$$K_{\Sigma 2}(t_i) = K_{\Sigma 1}(t_i) \pm [\Delta K_{\Sigma 1}(\Delta t_i)]_{\text{доп}},$$

де  $[\Delta K_{\Sigma 1}(\Delta t_i)]_{\text{доп}}$  – допуск на граничнодопустимі відхилення діагностичних параметрів від технічних умов у міжремонтний період напрацювання  $\Delta t_i$  ГТД, технічний стан проточної частини двигуна вважається „несправним”, але „працездатним”, тобто це передвідмовний ТС ГТД.

При значеннях  $K_{\Sigma 3}(t_i) > (K_{\Sigma 1}(t_i) + [\Delta K_{\Sigma 1}(\Delta t_i)]_{\text{доп}})$  або  $K_{\Sigma 3}(t_i) < (K_{\Sigma 1}(t_i) - [\Delta K_{\Sigma 1}(\Delta t_i)]_{\text{доп}})$  технічний стан проточної частини двигуна вважається „непрацездатним”, що рівнозначно його відмові. Відповідно до зміни значень КДП двигуна  $K_{\Sigma 1}(t_i)$  змінюються і поточні значення показників якості ТС  $W_{Si}$  та НФ  $P_{Si}$  ГТД. Але ця зміна має однобічний характер, тобто

$$0 \leq \{W_{Si} [K_{\Sigma 1}(t_i)]\} \leq 1,0; \quad 0 \leq \{P_{Si} [K_{\Sigma 1}(t_i)]\} \leq 1,0,$$

що свідчить про погіршення якості ТС і НФ авіаційного двигуна через наявність і розвиток експлуатаційних несправностей вузлів (елементів).

Отже, виходячи з наведених міркувань, одержуємо систему нелінійних диференціальних рівнянь, які у загальному вигляді описують і оцінюють зміну ТС ГТД у процесі його експлуатації:

$$\begin{cases} \dot{E}_{\Sigma^3}(t_i) = \dot{E}_{\Sigma 0}(t_0) \pm \left( \Delta \dot{E}_{\Sigma^3} + \frac{d\dot{E}_{\Sigma^3}}{dt_i} \Delta t_i \right), \\ W_{Si}(\dot{E}_{\Sigma^3}(t_i)) = W_{S0}(\dot{E}_{\Sigma 0}(t_0)) - \frac{dW_{S^3}}{d\dot{E}_{\Sigma^3}} \frac{d\dot{E}_{\Sigma^3}}{dt_i} \Delta t_i, \\ P_{Si}(\dot{E}_{\Sigma^3}(t_i)) = P_{S0}(\dot{E}_{\Sigma 0}(t_0)) - \frac{dP_{S^3}}{d\dot{E}_{\Sigma^3}} \frac{d\dot{E}_{\Sigma^3}}{dt_i} \Delta t_i. \end{cases} \quad (1)$$

У системі рівнянь (1) похідні показників діагнозу, якості ТС і НФ оцінюють динаміку зміни поточного ТС авіаційного двигуна за часом його напрацювання з початку експлуатації або після останнього ремонту.

### Висновок

Систему диференціальних рівнянь (1) можна вважати математичною моделлю оцінки динаміки ТС ГТД у багатовимірному просторі (часі напрацювання  $t_i$  – технічного діагнозу  $K_{\Sigma 1}$  – якості ТС  $W_{Si}$  – НФ  $P_{Si}$  будь-якого окремого екземпляра авіаційного двигуна, що діагностується у процесі регулярної експлуатації.

Графічна інтерпретація запропонованої математичної моделі (1) зображена на рисунку. У подальшому ця модель буде використана як база для обґрунтування принципово нової концепції динамічної системи поточного контролю та діагностування авіаційних ГТД „діагноз – якість – надійність”.

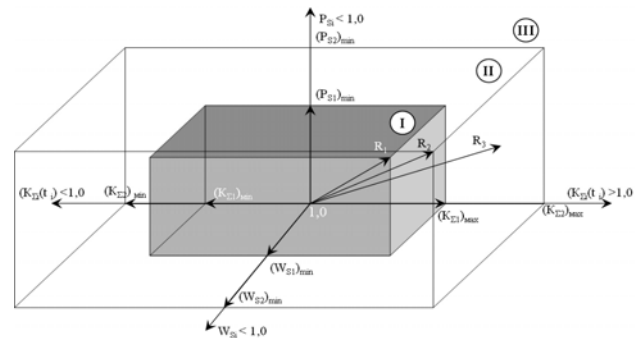


Схема математичної моделі динамічної системи діагностування ГТД „діагноз – якість – надійність”:

I, II, III – характерні експлуатаційні діапазони зміни показників якості ТС і НФ залежно від діапазону зміни показника діагнозу за часом напрацювання двигуна;

$\vec{R}_1, \vec{R}_2, \vec{R}_3$  – сумарні вектори поточних векторів показників діагнозу, якості ТС і НФ в характерних діапазонах їх зміни

### Література

1. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высш. шк., 1982. – 231 с.
2. Герасимов Б.М., Дивизинюк М.М., Субач И.Ю. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности. – Севастополь: Гос. океанариум, 2004. – 320 с.
3. Безпека авіації / В.П. Бабака, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін./ За ред. В.П. Бабака. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
4. Игнатов А.А., Тараненко А.Г. Авиационные системы диагностирования. – К.: КИИГА, 1991. – 104 с.
5. Дмитрієв С.О., Чоха Ю.М. Застосування комплексного контрольно-розрахункового методу діагностування конструктивних вузлів типових ТРДД для динамічних ЕСД // Вестн. двигателестроения. – 2004. – № 1. – С. 27–29.

Стаття надійшла до редакції 24.01.06.

Обосновано концептуально новий підхід к процессу диагностирования газотурбинных двигателей с использованием комплексных диагностических показателей качества и надежности для принятия эксплуатационного решения.

The conceptual new approach is motivated by process of the diagnostics gas-turbine engine with use the complex diagnostic factors quality and reliability for taking the working decision.