

УДК 629.7.03.:681.5.03

Ю.М. Чоха, канд. техн. наук

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

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

Обґрунтовано методику здійснення короткострокового прогнозу щодо динаміки деградації технічного стану вузлів газотурбінного двигуна за лінійною моделлю тренда діагностичного показника вузла методом найменших квадратів.

Вступ

Широкий діапазон умов і режимів льотно-технічної експлуатації сучасних авіаційних двигунів, а також варіація їх початкових (стендових) показників якості призводять до значної дисперсії щодо швидкості деградації технічного стану (ТС) і відповідно часу досягнення його конструктивними вузлами й елементами межового (передвідмовного) стану. Тому дуже важливо в умовах регулярної експлуатації мати методи і засоби для оцінки ТС будь-якого екземпляру типового газотурбінного двигуна (ГТД):

- визначення ступеня його віддаленості від межового стану;
- виявлення причин порушення справності;
- встановлення виду і місця виникнення пошкодження;
- прогнозування динаміки його розвитку.

Ці задачі вирішуються методами діагностування й прогнозування, застосування яких, особливо для таких складних і дорогих авіаційних виробів, як ГТД, дозволяє одержувати значний економічний ефект за рахунок більш повного використання їх потенційних можливостей і врахування конкретних властивостей та умов експлуатації.

Результати діагностування ГТД можуть бути використані для прогнозування його надійності і прийняття рішення щодо необхідності та строків проведення або профілактичного технічного обслуговування, або відновлювального ремонту.

У більшості випадків для авіаційних ГТД контроль загального стану чи вибіркового його елементів малоефективний.

Останніми роками розробляють системи діагностування для оцінки працездатності всіх основних конструктивних вузлів ГТД у вигляді автоматизованих бортових систем контролю або експертних систем діагностування. До останніх належить розроблений автором комплексний контрольно-розрахунковий метод діагностування ГТД [1] із застосуванням комбінованого функціонально-тестового методу ідентифікації несправного вузла проточної частини двигуна [2].

Прогнозування динаміки зміни технічного стану вузлів газотурбінного двигуна

При розробленні методики прогнозування ТС ГТД, що знаходиться в експлуатації, ефективно застосування методу найменших квадратів для здійснення оперативного (короткострокового) прогнозу в межах міжремонтного ресурсу. Із праці [3] відомо, що сутність методу найменших квадратів полягає в пошуку моделі тренда, яка мінімізує її відхилення від значень початкової часової послідовності, тобто

$$S = \sum_{i=1}^n (\bar{K}_i - K_i)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

де n – кількість розрахунків (вимірювань); \bar{K}_i, K_i – розрахункові й фактичні значення початкової часової послідовності показника технічного стану вузла ГТД відповідно.

У практичних дослідженнях найбільш широко застосовують лінійну або ту, що лінеаризується, модель тренда, що має найпростішу форму і достатньою мірою задовольняє початкові дані [4].

Метод найменших квадратів, як правило, використовують для одержання конкретних прогнозів, що пояснюється його простотою та легкістю реалізації в програмних алгоритмах на ЕОМ.

Недоліками методу найменших квадратів вважається жорстке фіксування моделі тренда, а також те, що надійний прогноз можна одержати на невеликий термін упередження, тобто за умови $t_i/T \ll 1,0$. Отже, метод найменших квадратів належить, переважно, до методів оперативного і короткострокового прогнозування.

Подамо модель тренда комплексного діагностичного показника (КДП) вузла ГТД у загальному випадку у вигляді ряду Тейлора:

$$K_i(t) = K_{i_0} + \frac{\partial \Delta K_i}{\partial t_i} + \frac{\partial^2 \Delta K_i}{\partial t_i^2} + \dots \quad (2)$$

де K_{i_0} – базове (початкове) значення КДП вузла ($K_{i_0} = 1,0$); ΔK_i – незалежні змінні значення КДП за часом t напрацювання двигуна.

Якщо обмежитися першими двома членами послідовності (2), то за умови $\frac{\Delta K_i}{\Delta t_i} = \text{const}$, маємо

лінійну прогнозну модель тренда КДП вузла ГТД, що набуває вигляду:

$$K_i(t) = K_{i_0} + \Delta K(\Delta t_i), \tag{3}$$

де ΔK – абсолютне прирощення КДП вузла ГТД:

$$\Delta K = K_i - K_{i_0};$$

Δt_i – прирощення часу напрацювання ГТД у визначеному періоді упередження:

$$\Delta t_i = t_i - t_{i-1}.$$

У класичному методі найменших квадратів передбачається рівноцінність початкової інформації в моделі.

На практиці майбутній перебіг процесу, що прогнозується, більшою мірою визначається більш пізніми поточними значеннями вимірювань (розрахунків), ніж ранніми. Ця обставина призвела до дисконтування, тобто зменшення цінності більш ранньої інформації.

Дисконтування враховується шляхом уведення в модель (1) значень вагових коефіцієнтів $\beta_i < 1$.

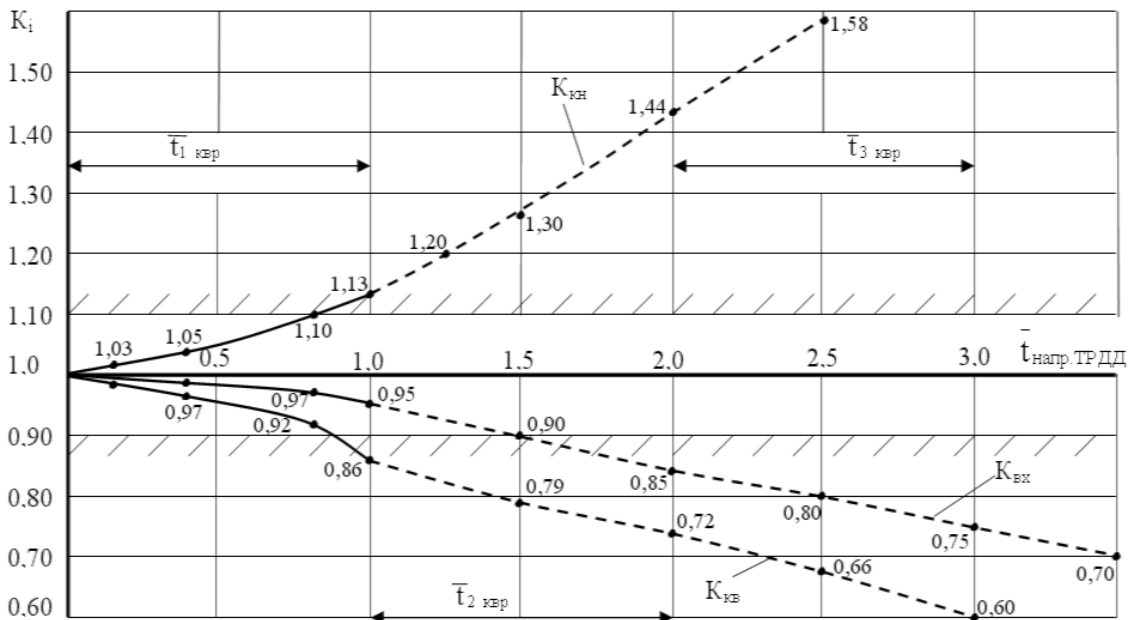
Тоді модель (1) набуває вигляду:

$$S = \sum_{i=1}^n \beta_i (\bar{K}_i - K_i)^2 \rightarrow \min. \tag{4}$$

Коефіцієнти β_i можна задавати заздалегідь у числовій формі, наприклад, $\{\beta_i\} = \beta_1, \beta_2, \dots, m = 0,9; 0,8; \dots; 0,1$, або у вигляді функціональної залежності таким чином, щоб при переміщенні в минуле значення вагових коефіцієнтів зменшувалися.

Отже, вирішуючи рівняння (3) ітераційним методом відносно $\Delta K_i(\Delta t_i)$, знаходимо послідовність прогнозних значень КДП вузла ГТД, що характеризують динаміку розвитку несправності, яка ідентифікована комбінованим функціонально-тестовим методом, із застосуванням методики розрахунків за методом найменших квадратів.

На рисунку показано результати застосування методики прогнозної екстраполяції методом найменших квадратів за лінійною моделлю (3) прогнозування динаміки деградації технічного стану вузлів “холодної” частини турбореактивного двоконтурного двигуна (ТРДД) АІ-25, проведеної автором за даними моделювання різного ступеня забруднення вузлів проточної частини стендового двигуна на газодинамічному випробувальному стенді.



Результати прогнозування динаміки погіршення технічного стану вхідного пристрою, компресорів низького і високого тисків двигуна АІ-25 за лінійною моделлю методом найменших квадратів у межах міжремонтних ресурсів без проведення відновлювальних робіт:

- значення КДП вузлів ТРДД у межах ресурсу до першого капітально-відновлювального ремонту;
 - - - прогнозовані значення КДП вузлів у межах наступних міжремонтних ресурсів ($t_{2квр}$, $t_{3квр}$);
 - ////// обмежувальна лінія припустимого погіршення технічного стану вузлів ТРДД;
- $K_{вх}$, $K_{кн}$, $K_{кв}$ – КДП вхідного пристрою, компресорів низького і високого тисків; $\bar{t}_{напр. ТРДД} = t_i / t_{1квр}$ – відносне значення поточного часу напрацювання ТРДД відносно міжремонтного ресурсу $t_{1квр}$

Аналіз одержаних результатів застосування методики прогнозування технічного стану вузлів типового ТРДД щодо визначення швидкості їх експлуатаційного забруднення за початковою змодельованою часовою послідовністю зміни КДП вузлів двигуна показує, що їх деградація відбувається з різною динамікою.

Тому прогнозні моделі окремих вузлів навіть у лінійному вигляді відрізняються величинами прирощення їх КДП $\Delta K_i(\Delta t_i)$ у моделі (3). Це призводить до зміни нахилу прогнозної прямої $K_i(t_i)$, яка, в свою чергу, суттєво залежить від характеру початкової часової послідовності значень КДП вузлів ТРДД, одержаних у період нагромадження бази статистичних даних у перший міжремонтний ресурс.

Висновки

Описана методика прогнозування технічного стану вузлів типових ГТД за методом найменших квадратів може досить просто реалізуватися для лінійних чи лінеаризованих прогнозних моделей. Це дозволяє ефективно застосувати її в умовах експлуатаційних авіаційних підприємств для розроблення оперативних і короткострокових прогнозів технічного стану

вузлів конкретних екземплярів ГТД, в яких на ранніх стадіях розвитку виявлено несправності проточної частини з метою прогнозування і контролювання їх динаміки до безпечного (допустимого) рівня.

Такий підхід цілком задовольняє вимоги до застосування стратегії експлуатації сучасних ГТД за їх технічним станом.

Література

1. *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.
2. *Дмитриев С.А., Чоха Ю.Н.* Методика применения функционально-тестового метода идентификации неисправностей ТРДД в среде динамической ЕСД // *Вестн. двигателестроения.* – 2004. – № 2. – С. 173–176.
3. *Рабочая книга по прогнозированию* / Под ред. И.В. Бестужева-Лады. – М.: Мысль, 1982. – 430 с.
4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров: определения, теоремы, формулы. – М.: Наука, 1984. – 832 с.

Стаття надійшла до редакції 13.06.05.

Ю.Н. Чоха

Методика оперативного прогнозирования изменения технического состояния узлов проточной части газотурбинного двигателя

Обоснована методика осуществления краткосрочного прогноза динамики деградации технического состояния узлов газотурбинного двигателя по линейной модели тренда диагностического показателя узла методом наименьших квадратов.

Yu.N. Chokha

Methods of the operative forecasting of the change the technical condition of the nodes of the running part gas-turbine engine

Is motivated methods of the realization of the short forecast speakers degrade of the technical condition of the nodes gas-turbine engine on linear model trend diagnostic factor of the node by method least square.