

САК і діагностика

ДІАГНОСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЗНОСУ
ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ГТД

О. В. Кіслов, Д. М. Чиж, М. В. Кононенко

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В процесі експлуатації елементи проточної частини зношуються, що призводить до зміни параметрів компресора та турбіни. В першу чергу знос проточної частини призводить до зменшення ККД компресору та турбіни.

З балансу робіт компресора та турбіни $L_k^* = L_t^*$, можна отримати формулу:

$$\frac{\pi_k^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{T_\Gamma^*/T_B^*} = \frac{c_{pg}}{c_p} \left(1 - \frac{1}{\pi_t^{*\frac{k_\Gamma-1}{k_\Gamma}}} \right) \eta_t^* \eta_k^*. \quad (1)$$

З формули (1) випливає, що зменшення ККД компресору η_k^* та турбіни η_t^* викликає зменшення π_k^* та (або) збільшення T_Γ^*/T_B^* . Таким чином, змінення π_k^* та T_Γ^*/T_B^* в процесі експлуатації можуть служити діагностичними ознаками.

Однак з вимірюванням цих параметрів є складності. Окрім того, бажано мати один діагностичний критерій, а не два, аби виключити необхідність вирішування багатокритеріальної задачі.

Такий єдиний критерій зносу проточної частини ГТД може бути запропонованим на основі комплексу, який записаний у лівій частині рівняння (1). Однак, недоліком використання цього комплексу є необхідність вимірювання тиску за компресором та температури газу перед турбіною, що не завжди можливо.

Доцільним буде замість π_k^* використати $\pi_{t\Gamma}^* = p_t^*/p_b^*$, а замість T_Γ^*/T_B^* - $\tau_{t\Gamma}^* = T_t^*/T_b^*$. Вимірювання цих параметрів не потребує установки засобів вимірювання в проточній частині газогенератора, а рівень температури T_t^* значно нижче, ніж в камері згоряння. Такий перехід можливий за умови припущення, що ступінь зниження тиску у турбіні у процесі експлуатації ГТД змінюється мало і його можна вважати незмінним. Тоді єдиний комплекс зносу проточної частини ГТД можна представити у вигляді

$$D = \frac{\pi_k^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{T_\Gamma^*/T_B^*} = \frac{(\pi_{t\Gamma}^* \pi_t^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\tau_{t\Gamma}^* (T_\Gamma^*/T_t^*)} = \frac{[(\pi_{t\Gamma}^* \pi_t^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1] [1 - (1 - \frac{1}{\pi_t^{*\frac{k_\Gamma-1}{k_\Gamma}}}) \eta_t^*]}{\tau_{t\Gamma}^*}. \quad (2)$$

Вочевидь, при $\pi_t^* = \text{const}$ комплекс зносу проточної частини ГТД



$D = f(\pi_{\Gamma}^*, \tau_{\Gamma}^*, \eta_T^*)$. Для того, щоб позбавитися впливу змінення η_T^* , треба перетворити комплекс D шляхом ділення на $[1 - (1 - \frac{1}{\pi_T^{\frac{k-1}{k}}})\eta_T^*]$. Тоді маємо новий комплекс зносу проточної частини ГТД у вигляді:

$$D_1 = \frac{D}{1 - \left(1 - \frac{1}{\pi_T^{\frac{k-1}{k}}}\right)\eta_T^*} = \frac{(\pi_{\Gamma}^* \pi_T^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\tau_{\Gamma}^*}. \quad (3)$$

За допомогою рівнянь (1), (3) можна одержати:

$$D_1 = \frac{c_{p\Gamma}}{c_p} \left(1 - \frac{1}{\pi_T^{\frac{k-1}{k}}}\right) \frac{\eta_T^* \eta_K^*}{1 - \left(1 - \frac{1}{\pi_T^{\frac{k-1}{k}}}\right)\eta_T^*}. \quad (4)$$

З рівняння (4) видно, що як зменшення η_K^* , так і зменшення η_T^* однозначно призводить до зменшення D_1 за умови $\pi_T^* = \text{const}$.

Комплекс $D_1 = f(\pi_{\Gamma}^*, \tau_{\Gamma}^*)$, який розраховується за формулою (3), відповідає вимозі зручності вимірювання параметрів газового потоку і дозволяє створити єдиний критерій зносу проточної частини газогенератора ГТД. Тобто, комплекс D_1 є діагностичним параметром зносу проточної частини газогенератора ГТД.

Критерій зносу проточної частини газогенератора ГТД можна запропонувати у вигляді

$$D_{10} - D_1 < \varepsilon_1, \quad (5)$$

де D_{10} – значення діагностичного параметру при заводських випробуваннях ГТД, яке записується у формулярі ГТД, а ε_1 – максимально допустимий відхил діагностичного параметру.

Крім діагностичного параметру D_1 , на основі рівняння (1) можна запропонувати інший діагностичний параметр – D_2 , який також однозначно змінюється в процесі експлуатації ГТД. В якості діагностичного параметру D_2 може бути запропонована величина змінення безрозмірної ентропії потоку у газогенераторі:

$$D_2 = \frac{\Delta s_{\Gamma\Gamma}}{R} = \frac{k}{k-1} \cdot \ln \tau_{\Gamma}^* - \ln \pi_{\Gamma}^*, \quad (6)$$

Параметр D_2 також відповідає заявленим вимогам – зростає при збільшенні τ_{Γ}^* та зменшенні π_{Γ}^* , тому він також є діагностичним параметром зносу проточної частини газогенератора ГТД. Фундаментальною причиною використання



змінення ентропії у якості діагностичного параметру зносу проточної частини ГТД є те, що ентропія – це міра хаосу, деградації системи. Тому є всі підстави вважати, що знос проточної частини ГТД викликає зростання ентропії.

Критерій зносу проточної частини газогенератора ГТД з використанням діагностичного параметру D_2 може бути запропонованим у вигляді

$$D_2 - D_{20} < \varepsilon_2, \quad (7)$$

де D_{20} – значення діагностичного параметру при заводських випробуваннях ГТД, яке записується у формулярі ГТД, а ε_2 – максимально допустимий відхил діагностичного параметру.

Вочевидь, що при використанні критеріїв зносу проточної частини газогенератора ГТД (5) або (7) вимірювання параметрів ГТД повинно здійснюватися для одного й того ж режиму роботи газогенератора. Режим роботи газогенератора визначається величиною π_T^* та приведеною частотою обертання ротора. Тому при випробуваннях ГТД необхідно забезпечити умови:

$$\pi_T^* = \text{idem та } n_{\text{пр}} = \text{idem.} \quad (8)$$

В таблиці 1 наведені результати вимірювань при технічному обслуговуванні ГТД у процесі експлуатації та значення діагностичних параметрів D_1 та D_2 .

Таблиця 1 – результати вимірювань та діагностичні параметри

t, год	$\pi_{\Gamma\Gamma}^*$	$T_{\text{в}}^*, \text{ K}$	$T_{\Gamma}^*, \text{ K}$	$\tau_{\Gamma\Gamma}^*$	D_1	D_2
0	3	288	1000	3,472	0,224	3,258
400	2,99	286	1003	3,507	0,221	3,296
800	2,97	290	1029	3,549	0,218	3,344
1200	2,91	280	1006	3,594	0,212	3,409

На рис.1 наведені залежності $\pi_{\Gamma\Gamma}^*$, $\tau_{\Gamma\Gamma}^*$, та D_2 від напрацювання ГТД у годинах, а на рис.2 - аналогічна залежність для D_1 .

На рис. 3 показані залежності $(D_{10} - D_1)$ та ε_1 , які дозволяють визначити стан проточної частини та прийняти рішення про подальшу експлуатацію ГТД.

На рис. 4 показані аналогічні залежності, але при використанні діагностичного параметру D_2 .

З рисунків 3 та 4 видно, що після напрацювання 1100 годин відхилення діагностичних параметрів перевищує допустимий відхил, що є ознакою необхідності заходів по відновленню стану проточної частини газогенератора.

Вочевидь, що максимально допустимі відхилення діагностичних параметрів мають різні величини.

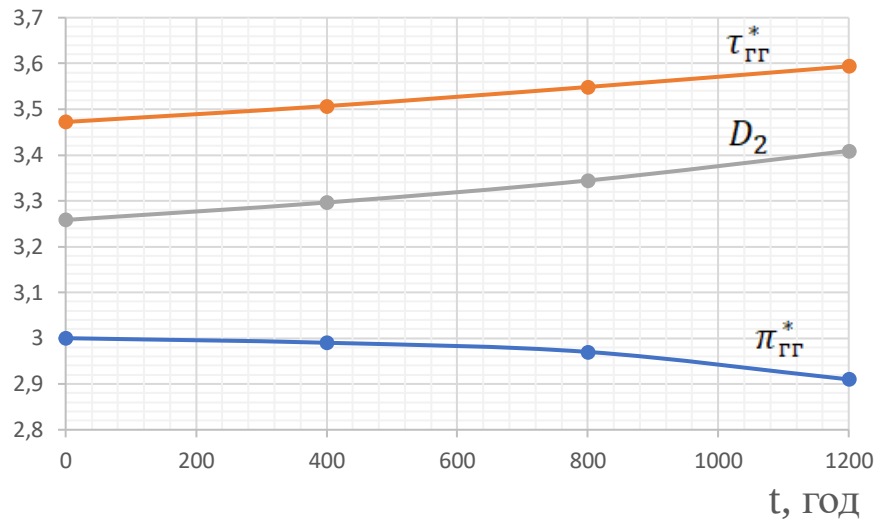


Рис. 1 – Залежність $\pi_{\Gamma\Gamma}^*$, $\tau_{\Gamma\Gamma}^*$ та D_2 від напрацювання ГТД у годинах t

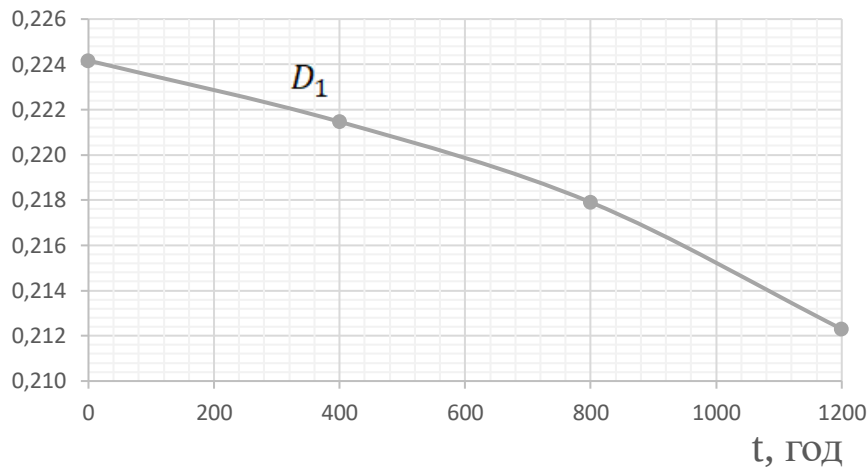


Рис. 2 – Залежність D_1 від напрацювання ГТД у годинах t

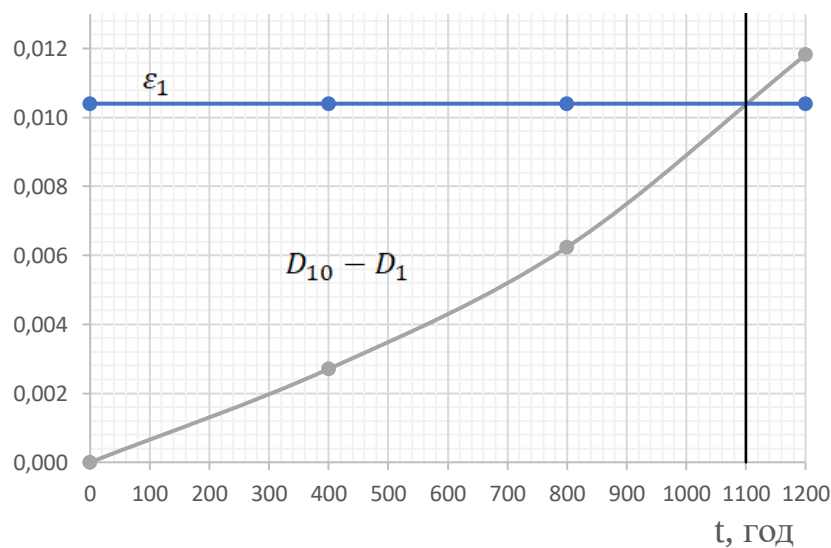


Рис. 3 – Порівняння відхилення діагностичного параметру D_1 у процесі експлуатації з його максимально допустимим відхилом ϵ_1

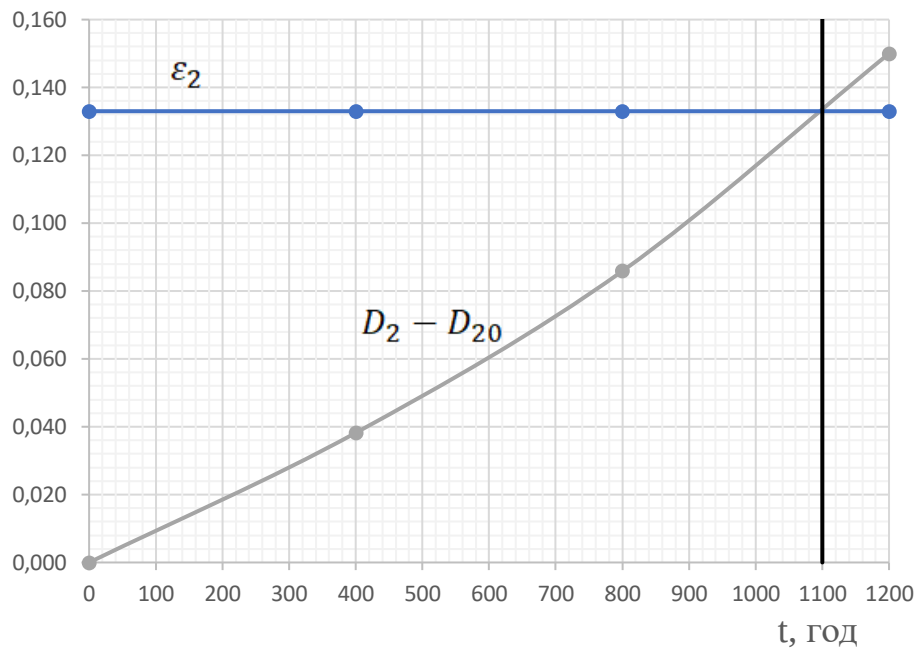


Рис. 4 – Порівняння відхилення діагностичного параметру D_2 у процесі експлуатації з його максимально допустимим відхилом ε_2

Висновки:

1. Запропоновані діагностичні параметри мають фізичний зміст, пов'язані зі зношенням проточної частини газогенератора ГТД та розраховуються за результатами відносно простих вимірювань;
2. Наступними етапами дослідження є статистична обробка результатів випробувань ГТД з метою визначення максимально допустимих відхилень діагностичних параметрів ε_1 та ε_2 .

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗПОДІЛЬЧИХ ГІДРОАПАРАТІВ

Є. С. Протас, О. В. Белявський, О. В. Косенко

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Метою роботи є вдосконалення алгоритмів керування розподільчим гідравлічним обладнанням за умов поліпшення його динамічних характеристик у колі гідравлічної технічної системи (ТС). Актуальність роботи визначається необхідністю розробки вдосконалених промислових систем та алгоритмів керування роботомеханічним обладнанням на основі стандартизованих мікропроцесорних пристроїв, а саме, на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК). Розгляду запропоновано систему управління циклом гідравлічного виконавчого маніпулятора, що використовується при автоматизації прямолінійних рухів робочого органу промислового робота з постійною, але різною швидкістю пересування або довжиною шляху у рамках стендового дослідження властивостей гідроапаратури.