

## СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.3.069:681.3.015

М.С. Кулик, д-р техн. наук, проф.

Ю.М. Чоха, канд. техн. наук, доц.

О.І. Чумак, асист.

О.П. Федорчук, асп.

### АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЇ ОЦІНКИ СТУПЕНЯ ЗАКОКСУВАННЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

НАУ, кафедра авіаційних двигунів

E-mail: zlp@nau.edu.ua

*Запропоновано технологію реалізації експертної системи діагностування сучасних газотурбінних двигунів щодо поточного оперативного визначення ступеня закоксування робочих паливних форсунок без їх демонтажу з газотурбінних двигунів.*

*Offered technology to realization of the expert system diagnostic modern gas turbine engines for the current operative determination degree contamination worker fuel injector without their unmounting with GTE.*

#### Постановка проблеми

У процесі експлуатації газотурбінних двигунів (ГТД) відбувається закоксування (засмічення) паливних форсунок. Нормативною документацією передбачається виконання періодичного контролю ступеня закоксування паливних форсунок, який здійснюють послідовним зніманням форсунок з двигуна і вимірюванням за допомогою спеціальних металевих пластинок (щупів) різної товщини [1] величини зазору між внутрішньою стінкою корпусу форсунки і корпусом розпилювача, який зменшується при нарощуванні нагару і на мінімальну величину якого дається допуск. Цей щуп застосовують для деяких типів ГТД згідно з регламентом технічного обслуговування (ТО) після напрацювання двигуном визначеної кількості міжремонтного ресурсу [2]. Його використання відзначається значною трудомісткістю і непридатністю для оперативної оцінки технічного стану робочих паливних форсунок (РПФ) в умовах регулярної експлуатації. Цей пристрій не дозволяє здійснювати вимірювання ступеня закоксування форсунок без їх демонтажу з ГТД.

#### Автоматизований інформаційно-діагностичний сигналізатор для оперативного вимірювання ступеня закоксування паливних форсунок газотурбінних двигунів

В основу роботи сигналізатора покладено одночасне застосування комбінації штатної системи контролю та реєстрації значень параметрів двигуна, яка забезпечує вимірювання поточних значень параметрів двигуна на певному діагностичному режимі його роботи.

Автоматизована розрахунково-діагностична система забезпечує:

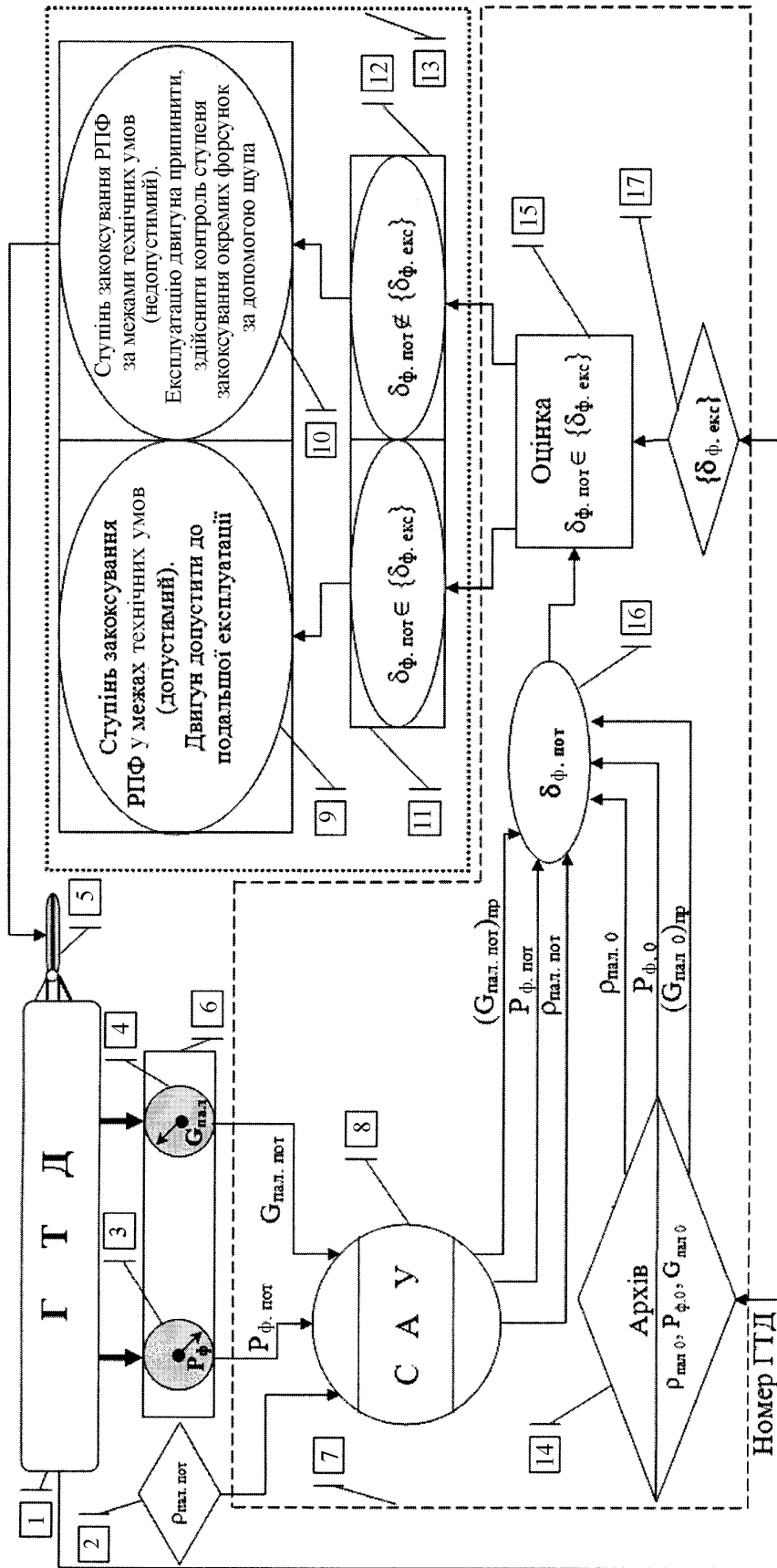
- приведення вимірних поточних значень параметрів до стандартних атмосферних умов (САУ);

- порівняння із заздалегідь вимірними, зареєстрованими й приведеними до САУ значеннями тих самих параметрів на початку експлуатації двигуна на тому самому діагностичному режимі його роботи;

- визначення технічного діагнозу щодо ступеня закоксування паливних форсунок за значеннями узагальненого діагностичного показника (УДП). Система індикації забезпечує оперативне автоматичне інформування авіаційного персоналу про визначений поточний ступінь закоксування паливних форсунок без їх демонтажу з двигуна, що діагностується.

Авіаційний персонал, що обслуговує ГТД, реєструє по приладам штатної системи контролю б (див. рисунок) на певному діагностичному режимі роботи двигуна поточні значення годинної витрати палива  $G_{\text{пал.пот}}$  4 та тиску палива перед форсунками  $P_{\text{ф.пот}}$  3, а також по контрольному талону 2 паливозаправника щільність сорту заправленого палива  $\rho_{\text{ф.пот}}$ . Ці значення контрольованих параметрів вводять через клавіатуру на вхід автоматизованої розрахунково-діагностичної системи 7 у блок реєстрації вхідних параметрів 8. У блоці реєстрації вхідних параметрів 8 за спеціальною розрахунковою програмою параметри приводять до САУ.

При цьому одночасно у блок-архів 14 вводять ідентифікаційний номер двигуна, що діагностується.



Структурно-функціональна схема автоматизованого інформаційно-діагностичного сигналізатора для оперативного контролю поточного ступеня закоксовування робочих паливних форсунок ГТД в умовах експлуатації:  
 1 – конкретний екземпляр ГТД, що діагностується; 2 – контрольний талон паливозаправника; 3 – прилад вимірювання поточного тиску палива перед форсунками; 4 – прилад вимірювання поточної годинної втрати палива; 5 – набір контрольних щупів для механічного вимірювання ступеня закоксовування окремих РПФ двигуна; 6 – штапна система контролю та реєстрації параметрів ГТД; 7 – автоматизована розрахунково-діагностична система; 8 – блок реєстрації вхідних параметрів та приведення їх до САУ і діагностичного рішення за поточним ступенем закоксовування РПФ конкретного ГТД; 9, 10 – кольорові таблі візуалізації експлуатаційного режиму; 11, 12 – кольорові індикатори поточного ступеня закоксовування РПФ конкретного екземпляру ГТД, що діагностується; 13 – система індикації; 14 – блок-архів збереження початкових значень параметрів конкретного екземпляру ГТД; 15 – блок оцінки належності поточних значень УДП ступеня закоксовування РПФ  $\delta_{\text{ф.пот}}$  експлуатаційному діапазону  $\{\delta_{\text{ф.екс}}\}$ ; 16 – розрахунковий блок обчислення поточних значень узгальненого діагностичного показника  $\delta_{\text{ф.пот}}$ ; 17 – блок-архів збереження експлуатаційного діапазону УДП  $\{\delta_{\text{ф.екс}}\}$

У блоці-архіві зберігають заздалегідь уведену інформацію щодо значень контрольованих параметрів цього двигуна, які зареєстровані на початку його регулярної експлуатації на тому самому діагностичному режимі.

Після ідентифікації двигуна, що діагностується, з блоку реєстрації вхідних параметрів 8 та з блоку архіву 14 автоматично на вхід розрахункового блоку 16 подають поточні значення контрольованих параметрів  $G_{\text{пал.пот}}$ ,  $P_{\text{ф.пот}}$ ,  $\rho_{\text{ф.пот}}$  та еталонні значення контрольованих параметрів даного двигуна  $G_{\text{пал}0}$ ,  $P_{\text{ф}0}$ ,  $\rho_{\text{ф}0}$ .

У розрахунковому блоці 16 автоматично здійснюють обчислення поточного значення УДП ступеня закоксування паливних форсунок двигуна  $\delta_{\text{ф.пот}}$  за співвідношенням [3]:

$$\delta_{\text{ф}} = \frac{(G_{\text{пал.пот}})_{\text{пр}}}{(G_{\text{пал}0})_{\text{пр}}} \sqrt{\frac{(\rho_{\text{пал}} P_{\text{ф}})_0}{(\rho_{\text{пал}} P_{\text{ф}})_{\text{пот}}}},$$

де  $(G_{\text{пал}0})_{\text{пр}}$ ,  $(G_{\text{пал.пот}})_{\text{пр}}$  – відповідно початкова (зареєстрована на початку експлуатації у формулярі двигуна) та поточна (зареєстрована в будь-який момент експлуатації цього самого двигуна) приведена до САУ годинні витрати палива;  $(\rho_{\text{пал}} P_{\text{ф}})_0$ ,  $(\rho_{\text{пал}} P_{\text{ф}})_{\text{пот}}$  – відповідно початкове та поточне значення добутку щільності сорту палива і тиску палива перед форсунками.

Обчислене у розрахунковому блоці 16 поточне значення УДП  $\delta_{\text{ф.пот}}$  ступеня закоксування паливних форсунок автоматично подають на вхід блоку 15 для оцінки належності поточних значень УДП  $\delta_{\text{ф.пот}}$  ступеня закоксування паливних форсунок визначеному експлуатаційному діапазону  $\{\delta_{\text{ф.екс}}\}$ , значення якого одночасно подають на вхід блоку 15 з блоку-архіву 17 збереження експлуатаційного діапазону значень УДП ступеня закоксування паливних форсунок після ідентифікації типу двигуна, що діагностують.

При цьому у блоці 15 здійснюють операцію порівняння [3]:

– якщо

$$(1,0 - \delta r_{\text{вим}}) \leq \delta_{\text{ф.пот}} \leq 1,0,$$

$\delta r_{\text{вим}}$  – систематична похибка вимірювання, то поточна величина узагальненого діагностичного показника  $\delta_{\text{ф.пот}}$  знаходиться в межах дозволеного експлуатаційного діапазону  $\{\delta_{\text{ф.екс}}\}$ , тобто технічний стан паливних форсунок вважають справним, а їх закоксування відсутнім;

– якщо

$$\delta_{\text{ф}} < (1,0 - \delta r_{\text{вим}}),$$

то поточна величина УДП  $\delta_{\text{ф.пот}}$  знаходиться за межами дозволеного експлуатаційного діапазону

$\{\delta_{\text{ф.екс}}\}$ , тобто технічний стан паливних форсунок вважають несправним, існує їх закоксування і призначають проведення профілактичних робіт із використанням пристрою [1] незалежно від часу напрацювання цього двигуна.

Визначену у блоці 15 оцінку належності поточних значень УДП ступеня закоксування паливних форсунок визначеному експлуатаційному діапазону використовують як вхідну інформацію в систему індикації 13.

При цьому у випадку одержання оцінки щодо належності поточної величини УДП  $\delta_{\text{ф.пот}}$  ступеня закоксування паливних форсунок дозволеному експлуатаційному діапазону  $\{\delta_{\text{ф.екс}}\}$ , тобто  $\delta_{\text{ф.пот}} \in \{\delta_{\text{ф.екс}}\}$ , цю інформацію автоматично висвітлюють на зеленому індикаторі 11, від якого одночасно спрацьовує зелене табло 9 візуалізації експлуатаційного вирішення для авіаційного персоналу щодо визначеного допустимого ступеня закоксування паливних форсунок екземпляру двигуна, який діагностують.

У разі одержання оцінки щодо неналежності поточної величини УДП ( $\delta_{\text{ф.пот}}$ ) дозволеному експлуатаційному діапазону  $\{\delta_{\text{ф.екс}}\}$ , тобто  $\delta_{\text{ф.пот}} \notin \{\delta_{\text{ф.екс}}\}$ , цю інформацію автоматично висвітлюють на червоному індикаторі 12, від якого одночасно спрацьовує червоне табло 10 візуалізації експлуатаційного вирішення для авіаційного персоналу щодо визначеного недопустимого ступеня закоксування паливних форсунок екземпляру двигуна, який діагностують.

При цьому його експлуатацію припиняють і здійснюють вимірювання ступеня закоксування окремих демонтованих з ГТД паливних форсунок за допомогою щупа 5 [1].

## Висновки

Працездатність та ефективність застосування автоматизованого інформаційно-діагностичного сигналізатора для оперативного вимірювання ступеня закоксування паливних форсунок ГТД перевірена експериментально на натурному газодинамічному стенді ГТД AI-25 послідовним випробуванням двигуна як із повним комплектом паливних форсунок, так і при послідовному заглушенні форсунок.

При цьому вимірювалися значення годинної витрати палива і тиску палива перед форсунками на штатних усталених режимах роботи двигуна від режиму малого газу до номінального.

Для крейсерського режиму роботи двигуна (0,85 номінального) зафіксовані значення контрольованих параметрів та розраховані сигналізатором значення УДП й оцінки їх належності експлуатаційному діапазону з візуалізацією експлуатаційного вирішення наведено в таблиці.

**Результати експериментального моделювання несправності паливних форсунок ГТД АІ- 25  
та роботи сигналізатора**

Коефіцієнт справності паливних форсунок	Приведена годинна витрата палива $G_{\text{пал.пр}}$ , кг/ГОД	Тиск палива перед форсунками $P_{\text{ф}}$ , кг/см <sup>2</sup> $\delta_{\text{ф}}$	Належність $\delta_{\text{ф.екс}} \{1,0; 0,95\}$	Ступінь закоксування паливних форсунок	Експлуатаційне рішення
1,0 (повний комплект форсунок)	487,5	18,5 1,0	$\delta_{\text{ф.пот}} \in \{\delta_{\text{ф.екс}}\}$	Допустимий	Дозволити подальшу експлуатацію двигуна
0,92 (без однієї форсунки)	490	21,5 0,932	$\delta_{\text{ф.пот}} \notin \{\delta_{\text{ф.екс}}\}$	Недопустимий	Заборонити подальшу експлуатацію двигуна. Виконати ТО паливних форсунок
0,83 (без двох форсунок)	496	24,5 0,884	$\delta_{\text{ф.пот}} \notin \{\delta_{\text{ф.екс}}\}$	Недопустимий	Заборонити подальшу експлуатацію двигуна. Виконати ТО паливних форсунок
0,75 (без трьох форсунок)	500	29,5 0,812	$\delta_{\text{ф.пот}} \notin \{\delta_{\text{ф.екс}}\}$	Недопустимий	Заборонити подальшу експлуатацію двигуна. Виконати ТО паливних форсунок

У розглянутій автоматизованій інформаційно-діагностичній системі [4] застосовують одночасне комбінування штатної системи контролю та реєстрації значень параметрів ГТД, що діагностується, з автоматизованою розрахунково-діагностичною системою та системою індикації.

При цьому забезпечується оперативне вимірювання ступеня закоксування паливних форсунок без їх демонування з ГТД, що діагностуються, і, отже, підвищення ефективності їх технічного обслуговування при значному зменшенні трудовитрат.

### Література

1. *Інструкція* по експлуатації авіаційного турбовинтового двигателя АІ-20. – М.: Транспорт, 1970. – 78 с.
2. *Регламент* технічного обслуговування ТВД АІ-20. – М.: Транспорт, 1970. – 235 с.
3. *Заявка* № 2006 02030 Україна. Комбінований спосіб оперативного вимірювання ступеня закоксування паливних форсунок газотурбінних двигунів / Ю.М. Чоха, В.О. Ігнатов, М.С. Кулик, О.П. Федорчук. Заявлено 24.02.2006 р.
4. *Заявка* №2006 09625 Україна. Сигналізатор автоматизованій інформаційно-діагностичній для оперативного вимірювання ступеня закоксування паливних форсунок газотурбінних двигунів / Ю.М. Чоха, М.С. Кулик, О.Є. Литвиненко, О.П. Федорчук. Заявлено 12.08.2006 р.

Стаття надійшла до редакції 03.10.06.