

УДК 629.735.036.017.1

Ю.Н. ЧОХА

Национальный авиационный университет, Киев, Украина

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СТЕПЕНИ ЗАКОКСОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК ГТД

Обосновывается методика определения степени неисправности рабочих топливных форсунок газотурбинных двигателей в условиях эксплуатации.

газотурбинный двигатель, топливная форсунка, закоксование, обобщенный диагностический параметр

Характерными эксплуатационными неисправностями камер сгорания газотурбинных двигателей (ГТД) являются трещины, местные оплавления и прогары жаровых труб и корпусов. Их появление в большой степени связано с неравномерностью распыла топлива и возникновения местного перегрева из-за закоксования рабочих топливных форсунок. В настоящее время при проведении работ по техническому обслуживанию камер сгорания ГТД оценку закоксования форсунок проводят следующими способами [1]:

- у одних типов двигателей проверяется величина зазора между внутренней стенкой корпуса форсунки и корпуса распылителя, которая изменяется при наращивании нагара. При этом значение минимального зазора нормируется документацией;
- для других типов двигателей производится оценка равномерности теплового поля после заданной наработки. В этом случае определяется средняя температура исходящих газов по всем термопарам, с последующим поочередным отключением одной из них. Разность средних температур дает степень равномерности теплового поля, которая должна быть в допустимых пределах.

Эти способы отличаются высокой трудоемкостью проведения работ и используются в соответствии с регламентом ТО типа ГТД на самых тяжелых формах технического обслуживания. Методов оперативного диагностирования степени закоксования

топливных форсунок в условиях регулярной эксплуатации ГТД практически не существует.

Известно, что при закоксовании форсунок в случае сохранения постоянства часового расхода топлива ($G_{т.час} = \text{const}$) перед ними повышается давление из-за уменьшения площади распыла и дросселирования топлива в канале форсунки. Зависимость ($G_{т.час}$) через топливные форсунки от эксплуатационных факторов имеет вид [2]:

$$G_{т.час} = \mu_f F_f \cdot \sqrt{2\rho_T P_{ф.т}}, \quad (1)$$

где μ_f – коэффициент расхода топлива, который характеризует пропускную способность комплекта рабочих форсунок; F_f – суммарная площадь распылителей форсунок; ρ_T – плотность сорта топлива; $P_{ф.т}$ – давление топлива перед форсунками на соответствующем режиме работы ГТД, контролируемое по манометру в кабине экипажа ВС.

Закоксование (засорение) форсунок приводит к изменению величины $\mu_f \cdot F_f$. Если определить относительную величину этого изменения, то получим соотношение для обобщенного диагностического параметра степени закоксования рабочих топливных форсунок ГТД

$$\delta_\phi = (\mu_f \cdot F_f)_{\text{ТЕК.}} / (\mu_f \cdot F_f)_{\text{исх.}}, \quad (2)$$

или

$$\delta_\phi = \frac{(G_{т.час.нр})_{\text{ТЕК.}}}{(G_{т.час.нр})_{\text{исх.}}} \cdot \sqrt{\frac{(\rho_T \cdot P_{ф.т})_{\text{ТЕК.}}}{(\rho_T \cdot P_{ф.т.})_{\text{исх.}}}} \quad (3)$$

Таким образом, предлагаемая универсальная ме-

тодика диагностирования степени неисправности рабочих топливных форсунок ГТД состоит в проведении регистрационного контроля текущих значений давления топлива перед форсунками ($p_T \cdot P_{ф.Т}$) по штатному прибору и расчете (или регистрации по расходомеру) приведенной величины часового расхода топлива двигателя ($G_{Т.час.пр.}$)_{Тек.} на соответствующем режиме его работы (крейсерском, номинальном, взлетном). Затем эти величины сравниваются с заранее известными исходными (стендовыми, формулярными) значениями этих же параметров [$(p_T \cdot P_T)_{исх.}(G_{Т.час.пр.})_{исх.}$] по расчетному соотношению (3). При этом определяется значение обобщенного диагностического параметра δ_ϕ , который характеризует относительную часть или степень закоксования (засорения) форсунок. Это позволяет диагностировать состояние рабочих топливных форсунок и параметры камеры сгорания как узла ГТД в условиях регулярной эксплуатации.

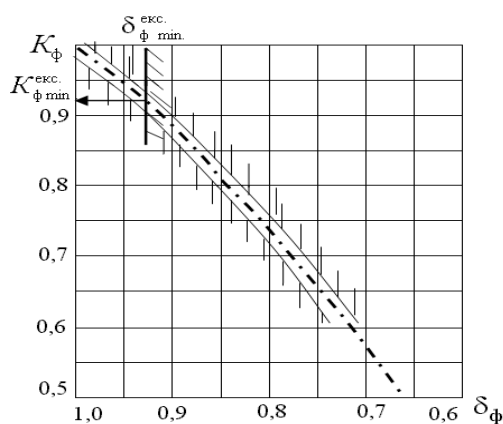
Даная методика апробирована экспериментально на натурном газодинамическом стенде ТРДД АИ-25. При этом неисправности топливных форсунок моделировались путем последовательного отключения одной, двух и т.д. форсунок от рабочего контура топливопитания с опробованием двигателя при смоделированной неисправности. В ходе эксперимента измерялись значения давления топлива перед рабочими форсунками (P_T) и приведенного часового расхода топлива ($G_{Т.час.пр.}$) при различных значениях коэффициента исправности комплекта форсунок ($K_\phi = K_\phi^{испр.} / K_\phi^\Sigma$) и рассчитывались значения параметра δ_ϕ по соотношению (3) на установившихся режимах работы двигателя от режима малого газа до номинального. В табл. 1 приведены результаты экспериментальных исследований для крейсерского (0,85 ном.) режима работы двигателя, которые показывают существенное увеличение P_T при отключении одной и более форсунок из установленного на двигателе комплекта, а также некоторое увеличение $G_{Т.час.пр.}$ по сравнению с исходным. По данным экспериментальных исследований и моделирования на

ЭВМ построена тестовая кривая (рис. 1) зависимости коэффициента исправности форсунок K_ϕ от степени их закоксования δ_ϕ для типового ТРДД АИ-25.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Параметры	Коэффициент исправности топливных форсунок K_ϕ						
	1,0	0,92	0,83	0,75	0,67	0,58	0,5
$G_{Т.час.пр.}$, кг/ч	487	490	496	500	504	508	511
P_T , кг/см ²	18,5	21,5	24,5	29,5	34,0	40,0	46,0
δ_ϕ	1,0	0,93	0,88	0,81	0,76	0,71	0,66

Рис. 1. Зависимость коэффициента исправности форсунок K_ϕ от степени их закоксованности δ_ϕ

Она может быть использована для определения технического состояния топливных форсунок и принятия решения о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации ГТД. Представленная методика является универсальной и применима для реализации на любом типе ГТД.

Литература

1. Технічне обслуговування планера і функціональних систем ПС та АД / С.О. Дмитрієв, О.С. Тугарінов, Ю.М. Чоха та ін. – К.: НАУ, 2004. – С. 165 – 167.
2. Кулик Н.С. Параметрические методы оценки технического состояния авиационных ГТД в эксплуатации. – К.: КИИГА, 1993. – 139 с.

Поступило в редакцию 13.05.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.О. Дмитриев, Аэрокосмический институт Национального авиационного университета, Киев.