

## КОНТРОЛЬ ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА ЛОПАТОК ВЕРТОЛЕТНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ЕГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

В. А. ПОТАПОВ, А. В. МАМОЙКО

*Белорусская государственная академия авиации, г. Минск*

Анализ надежности вертолетных газотурбинных двигателей (ВГТД) в процессе технической эксплуатации показал, что из всех элементов газозоудушного тракта двигателя наиболее уязвимым, вследствие пылевой эрозии лопаток, является компрессор [1]. Применение пылезащитных устройств (ПЗУ) не приводит к полному устранению пыли и, как следствие, эрозионному изнашиванию деталей проточной части компрессора. Инструментальные методы контроля величины эрозионного износа лопаток компрессора, применяемые на сегодняшний день, имеют высокую степень субъективности, большую трудоемкость и в большинстве случаев не дают комплексной оценки степени эрозионного износа лопаток компрессора [2]. Оптимальным путем решения данной проблемы является достижение высокого уровня контролепригодности компрессора, что возможно лишь при непрерывной тесной взаимной связи процессов проектирования с процессами разработки и внедрения в эксплуатацию новых методов и средств диагностирования.

В настоящее время параметрическая диагностика ГТД по термогазодинамическим параметрам является одним из наиболее распространенных и эффективных методов оценки их технического состояния. Именно этим методом оценивается способность ГТД выполнять основную функцию – развивать необходимую мощность [3]. Одним из основных вопросов параметрического метода технического диагностирования элементов ГТД является выбор основных функциональных параметров, обладающих наибольшей диагностической ценностью. Определения диагностических параметров (признаков) предусматривают анализ математической модели ГТД как объекта диагностирования и модели его возможных дефектов. В качестве исходной информации при реализации методики используются результаты опробования двигателя, а также априорные данные, необходимые для формирования математической модели двигателя и выбора перечня идентифицируемых параметров.

Используя зависимости газодинамических параметров работы компрессора вертолетного газотурбинного двигателя ТВ3-117 от его наработки и запыленности атмосферы [4], получили нормированные значения изменения параметров  $\Delta K_y$  (44,12 %),  $\pi_k$  (18,5 %),  $\eta_k$  (6,15 %),  $G_b$  (5,34 %),  $T_k$  (4,66 %) в процентном отношении в процессе эксплуатации двигателя (рисунок 1), где  $\Delta K_y$  – запас газодинамической устойчивости компрессора;  $\eta_k$  – коэффициент полезного действия компрессора;  $\pi_k$  – степень повышения давления компрессора;  $T_k$  – температура на выходе из компрессора.

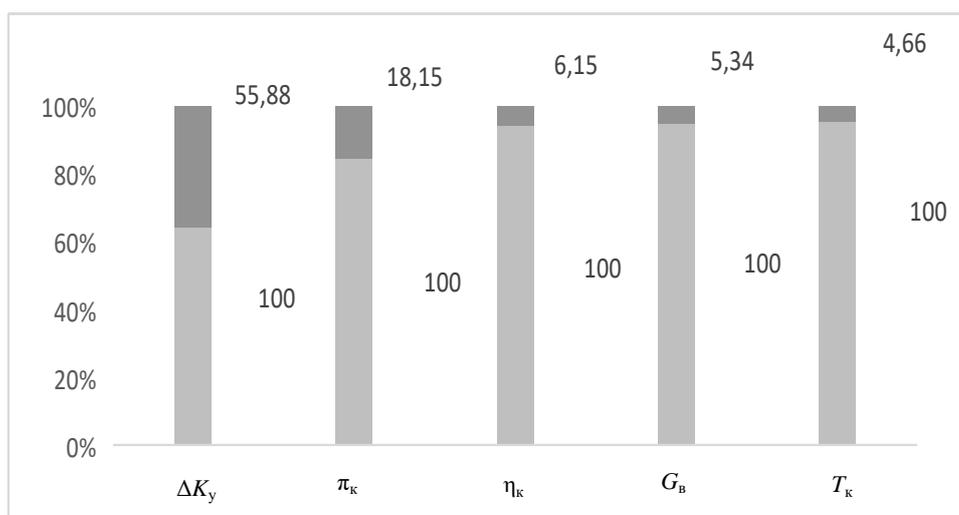


Рисунок 1 – Гистограмма изменения параметров компрессора при эрозионном износе лопаток в процессе эксплуатации двигателя

Из рисунка 1 видно, что наиболее информативными по величине изменения параметра являются запас газодинамической устойчивости компрессора ЗГДУ  $\Delta K_y$  и степень повышения давления  $\pi_k$ . Проведенные натурные исследования в работах [5, 6] показали, что с учетом возможности измерения на вертолете Ми-8 (Ми-24) необходимо использовать  $\pi_k$ , так как:

1) данный параметр, напрямую определяет изменения характеристики компрессора в результате эрозионного износа его лопаток;

2) независим от изменения характеристик других узлов двигателя, в отличие от  $\Delta K_y$ ;

3) легкодоступен в регистрации и обработке;

4) зарубежные фирмы (Pratt & Whitney, Rolls-Royce и т. д.) также проводят исследования по выбору наилучшего способа управления, позволяющего поддержать требуемые характеристики узлов ВГТД в результате эксплуатационных воздействий, в том числе эрозионного износа. Результаты данных исследований нашли применение при разработке двигателей PW4000, Trent1000, в которых для управления режимом работы двигателя используется параметр «степень повышения давления компрессора» [7]. Таким образом, при разработке методики контроля эрозионного износа лопаток в качестве основного информативного параметра принимается степень повышения давления компрессора.

Полученные результаты применимы для разработки методики контроля степени эрозионного износа лопаток компрессора ВГТД по его газодинамическим параметрам, а также позволяют выявлять дефекты на ранней стадии их возникновения, что обеспечивает своевременное проведение работ по обслуживанию, ремонту компрессора или его замене.

#### Список литературы

1 **Потапов, В. А.** Анализ влияния запыленности атмосферы на износ лопаток осевого компрессора вертолетного газотурбинного двигателя в процессе эксплуатации / В. А. Потапов, А. А. Санько, Р. И. Хованский // *Неразрушающий контроль и диагностика*. – 2020. – № 4. – С. 32–38.

2 **Богданов, А. Д.** Турбовальный двигатель ТВ3-117ВМ: конструкция и техническое обслуживание : учеб. пособие / А. Д. Богданов, Н. П. Калинин, А. И. Кривко. – М. : Воздуш. транспорт, 2000. – 392 с.

3 **Стедьмах, М. В.** Совершенствование методов технической диагностики газоперекачивающих агрегатов с авиационным газотурбинным приводом АЛ-31СТ(Н) / М. В. Стедьмах, И. А. Кривошеев, И. М. Горюнов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 1 (Ч. 1). – 11 с.

4 **Потапов, В. А.** Зависимость термогазодинамических параметров работы компрессора вертолетного газотурбинного двигателя от его наработки и запыленности атмосферы / В. А. Потапов, А. А. Санько, М. В. Кудин // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. Физико-математических наук*. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 307–319.

5 **Потапов, В. А.** Контроль технического состояния компрессора газотурбинного двигателя ТВ3-117 по изменению запаса его газодинамической устойчивости / В. А. Потапов, А. А. Санько, А. А. Шейников // *Вестник УГАТУ*. – 2019. – Т. 23, № 3 (85). – С. 88–95.

6 **Потапов, В. А.** Диагностика технического состояния компрессора ГТД в процессе его эксплуатации по комплексному термогазодинамическому параметру / В. А. Потапов, А. А. Санько, Р. И. Хованский // *Авиационный вестник*. – 2020. – № 3. – С. 19–25.

7 **Гуревич, О. С.** Исследования способов управления, инвариантных к ухудшению характеристик узлов двигателя в процессе эксплуатации / О. С. Гуревич, С. А. Сметанин, М. Е. Трифионов // *International Conference on Aviation Motors – ICAM 2020*. – Moscow, May 18–21, 2021. – P. 88–92.

УДК 536.21

## ЭКРАННО-ВАКУУМНАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*П. Ф. ПРОНИНА, А. В. БАБАЙЦЕВ, А. П. ВЯТЛЕВ*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

С развитием ракетно-космической индустрии всё больше возрастают требования к защите космических аппаратов (КА) от избыточного тепла и различного рода излучений. За стабилизацию теплового режима КА отвечает система обеспечения теплового режима (СОТР), которую в свою очередь можно разделить на активную и пассивную [1]. Задачей пассивной системы терморегулирования является сохранение необходимого температурного диапазона благодаря применению материалов с необходимыми оптическими и термическими параметрами. К таким материалам относится экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ). Применение ЭВТИ обеспечивает возможность существенно снизить интенсивность теплообмена элементов конструкции и оборудования КА с