

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА СИСТЕМЫ РНА КОМПРЕССОРА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Юртаев А.А.<sup>1</sup>, Фалалеев С.В.

<sup>1</sup>Самарский университет, г. Самара, [don.yurtaev2016@yandex.ru](mailto:don.yurtaev2016@yandex.ru)

*Ключевые слова:* запас газодинамической устойчивости, регулируемый направляющий аппарат, количество срабатываний.

Система регулирования направляющих аппаратов (РНА) играет важную роль в обеспечении газодинамической устойчивости, поддержания высокого КПД компрессоров и облегчении запуска авиационных ГТД [1]. Запас газодинамической устойчивости является показателем, который характеризует способность двигателя работать в условиях изменения потока воздуха во время полета.

При проектировании компрессора к конструкции системы РНА предъявляются высокие требования по точности поворота и идентичности положения всех лопаток; исключению заеданий в кинематических связях при повороте приводного вала и кольца; обеспечению надежности всей системы [2].

Наиболее нагруженной частью конструкции являются соединения – места крепления лопаток, которые опираются на подшипники скольжения без подвода смазки (рисунок 1). В качестве таких подшипников наиболее распространенными являются бронзовые втулки. Для обеспечения заданного ресурса необходим точный учет параметров трения в соединениях.



Рисунок 1 - Модель системы РНА авиационного газотурбинного двигателя

Чтобы снизить коэффициент трения и интенсивность изнашивания в контактах применяются антифрикционные покрытия. В данной работе сравниваются триботехнические характеристики бронзовых втулок и таких же втулок, но с нанесенным антифрикционным молибденовым покрытием толщиной 200 мкм.

Контактные напряжения  $\sigma_n$  при взаимодействии цапфы лопатки и втулки определяются по формуле (1) Герца-Беляева:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{q \cdot E_{пр}}{2\pi \cdot (1-\nu^2) \cdot \rho_{пр}}}, \quad (1)$$

где  $q$  – нагрузка на единицу длины контакта,  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $\rho_{пр}$  – приведенный радиус кривизны,  $E_{пр}$  – приведенный модуль упругости.

При экспериментальном определении коэффициента изнашивания необходимо обеспечивать величины напряжений в зоне контакта, рассчитанные по формуле (1). Полученные в результате расчетов величины напряжений в зоне контакта:  $\sigma_{n1} = 32,61$  МПа;  $\sigma_{n2} = 40,73$  МПа.

Среднее значение коэффициента трения при пробеге 1000 м в паре трения сталь ШХ-15 и образец из БрНБТ без покрытия составило 0,304. При пробеге 50000 м коэффициент интенсивности изнашивания составляет  $2,48 \cdot 10^{-4}$  мм<sup>3</sup>/м.

Среднее значение коэффициента трения при пробеге 1000 м в паре трения шар из стали ШХ-15 и образец из БрНБТ с покрытием из молибдена составило 0,157. При пробеге 50000 м коэффициент интенсивности изнашивания составил  $1,98 \cdot 10^{-5}$  мм<sup>3</sup>/м.

Коэффициент интенсивности изнашивания можно выразить формулой (2):

$$I = \frac{V_{\text{изн}}}{L}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{изн}}$  – объем изношенного материала;  $L$  – путь трения из формулы (3).

$$L = z \cdot \frac{2\pi \cdot R_1 \cdot \alpha}{360}, \quad (3)$$

где  $z$  – количество срабатываний;  $R_1$  – радиус втулки,  $\alpha$  – угол поворота лопатки направляющего аппарата.

В то же время допустимый объем изношенного материала по формуле (4):

$$V_{\text{изн}} = L_1 \cdot \delta \cdot h. \quad (4)$$

где  $\delta$  – допустимая толщина изношенного слоя.

При наличии покрытия допустимая толщина изношенного слоя должна быть меньше его толщины. Из приведенных выше формул (2)-(4) выразим количество допустимых срабатываний системы РНА:

$$z = \frac{\delta \cdot h}{I}. \quad (5)$$

Тогда количество срабатываний системы при использовании в системе РНА бронзовых втулок без покрытия  $z_1 = 4,84 \cdot 10^6$ . Количество срабатываний системы при использовании бронзовых втулок с молибденовым покрытием:  $z_2 = 60,6 \cdot 10^6$ .

Из полученных значений видно, что количество возможных срабатываний при использовании бронзового вкладыша с молибденовым покрытием на порядок больше, чем при использовании вкладыша без покрытия. При этом для обеспечения требуемой надежности авиационных газотурбинных двигателей количество срабатываний системы РНА должно быть более  $10^7$ . Применение бронзовых втулок с молибденовым покрытием удовлетворяет этим требованиям.

### Список литературы

1. Старцев Н.И. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей и приводов энергетических установок. Кн.1. Основы проектирования ГТД. Конструктивные схемы. Компрессоры. Турбины: учебник / Н.И. Старцев. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 400 с.
2. Фалалеев С.В., Мелентьев В.С., Гвоздев А.С., Расчетный алгоритм виртуального моделирования регулируемых направляющих аппаратов осевого компрессора // Насосы. Турбины. Системы. – 2016. – № 3(20). – С. 50-60.

### Сведения об авторах

Юртаев Артем Алексеевич, магистрант. Область научных интересов: условия работы и конструкция регулируемых направляющих аппаратов компрессора ГТД.

Фалалеев Сергей Викторинович, д. т. н., профессор, заведующий каф. «Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов. Область научных интересов: условия работы и конструкция регулируемых направляющих аппаратов компрессора ГТД.

### METHOD FOR DETERMINING THE RESOURCE OF THE ADJUSTABLE COMPRESSOR GUIDE VANE OF AIRCRAFT ENGINE

Yurtaev A.A.<sup>1</sup>, Falaleev S.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara University, Samara, Russia, [don.yurtaev2016@yandex.ru](mailto:don.yurtaev2016@yandex.ru)

*Keywords: margin of gas-dynamic stability, adjustable guide vane, number of operations*

The work analyzes the operating conditions of the guide vane control system and the loads that occur in the system during operation.