

ТЕПЛОВОЙ АНАЛИЗ АВИАЦИОННОГО ГТД С БЕЗЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ СМАЗКИ

© 2018 Р.В. Храмин, Н.В. Кикоть, М.В. Лебедев, М.Н. Буров

ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск Ярославской области

THERMAL ANALYSIS OF AVIATION GAS-TURBINE ENGINE WITH THE CIRCULATION-FREE OIL SYSTEM

Khramin R.V., Kikot N.V., Lebedev M.V., Burov M.N. (PJSC UEC-Saturn, Rybinsk, Yaroslavl Region, Russian Federation)

The article deals with the experimental-theoretical calculation method of the thermal mode of gas-turbine engine ball bearings with the circulation-free oil system. The method is based on the experimental data processing by the law of similarity. The criterion equation to assess the power losses for driving the hybrid ball bearings, and accordingly the working temperature of the bearing, or the required air blow through the bearing support has been obtained.

В ПАО «ОДК-Сатурн» в последние годы ведутся работы по применению «гибридных» радиально - упорных шарикоподшипников в качестве опор роторов малоразмерных авиационных двигателей.

Экспериментальным работам на установках и в составе двигателя предшествовала разработка методов теплового расчёта опор с подшипниками качения. Разработан и опробован при проектировании ряда двигателей метод теплового расчёта подшипников с безциркуляционной системой смазки. Метод позволяет определять тепловыделение в подшипнике, внешние тепловые воздушные потоки.

На установках по исследованию подшипников проводились испытания «гибридных» радиально – упорных шарикоподшипников с шариками из нитрида кремния Si_3N_4 производства немецкой фирмы «FAG». Испытывались подшипники типоразмера: «308» с консистентной смазкой. Охлаждение подшипников осуществлялось воздухом из цеховой магистрали сжатого воздуха. Осевая нагрузка на подшипники ступенчато доводилась до 400 кг, радиальная нагрузка устанавливалась постоянная. При испытаниях измерялась температура наружного кольца и расход охлаждающего воздуха. В результате этих испытаний был разработан метод теплового расчёта «гибридных» подшипников с консистентной смазкой, охлаждаемых воздухом. Эксперименты на установках и в составе двигателя «гибридных» подшипников подтвердили существенное снижение тепловыделения в них по сравнению со стальными

подшипниками. Это позволило отказаться от циркуляционной системы смазки.

Расчёт теплового состояния подшипников основан на решении основного критериального уравнения для определения теплового потока Q . Данный метод разработан Демидовичем В.М. [1] и является базовым для метода определения теплового состояния подшипников.

В работе [1] суммарные потери мощности на привод подшипника были методологически разделены на две определяющие группы:

$$\Sigma Q = Q_{тр} + Q_{гидр},$$

где ΣQ – суммарные потери мощности на привод;

$Q_{тр}$ – потери, обусловленные всевозможными силами трения в контакте между телами качения и кольцами;

$Q_{гидр}$ - гидродинамические потери, характеризующие процессы перемешивания масла телами качения в каналах подшипника.

Для подшипников, работающих на консистентной смазке, определяющими будут потери мощности на трение, которые определяются всевозможными силами сопротивлений, возникающими на контактирующих поверхностях элементов подшипников (дифференциальное скольжение, упругий гистерезис, гироскопическое верчение и пр.), дифференциальный учёт влияния которых на потери в реальных условиях работы не представляется возможным. Учитывая объективные трудности выполнения теплового расчёта лишь на основе теоретических предпосы-

лок, был предложен путь экспериментально-теоретического исследования с применением методов теории подобия [2, 3].

Потери мощности на гидродинамические потери актуальны только в начальный момент работы подшипника, либо в процессе подачи свежей смазки, т.к. излишки её выбрасываются из канала в короткий промежуток времени. Поэтому в тепловом анализе данные потери можно не учитывать.

Для проведения теплового расчёта должны быть известны параметры подшипника, условия работы, нагрузки, температура охлаждающего воздуха.

На основе экспериментальных данных по исследованию теплового состояния подшипника устанавливается тепловыделение при разных расходах температурах воздуха:

$$Q_{\text{экс}} = C_p q_a (t_{\text{в.вых}} - t_{\text{в.вх}})$$

Из сравнения выражений для Q по зависимостям получается формула для расчётно-экспериментального определения коэффициента сопротивлений:

$$C = \frac{Q_{\text{экс}}}{\beta m q l^2 u^3}$$

При сопоставлении выражений получается, что условия подобия будут, в случае:

$$C = \varphi(\text{Re}, \text{Eu}, \text{Pr}) = 0,001 \cdot \text{Re}^k \cdot \text{Eu}^l \cdot \text{Pr}^m = \text{idem}$$

Коэффициенты степеней k, л, м критериев подбираются итерационно, т. к. в уравнении присутствуют три неизвестных. Принятие степеней для критериев позволяет построить графики сходимости экспериментальных и расчётных данных (рис. 1).

УДК 621.534

ЗОНДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ (ОБЗОР)

© 2018 А.Г. Гимадиев, Н.Д. Быстров, Е.С. Дягилева, С.А. Касьянов, А.Н. Коропецкий
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

PROBES FOR MEASUREMENT OF PULSATIONS OF PRESSURE IN GAS-TURBINE ENGINES (REVIEW)

Gimadiyev A.G., Bystrov N.D., Dyagileva E.S., Kasyanov S.A., Koropetsky A.N. (Samara national research university, Samara, Russian Federation)

One of the key parameters bearing information on working processes during operational development of gas-turbine engines is pressure. Therefore special attention to the pulsating pressure measurement accuracy is paid. As a rule, installation of sensors to measure pressure with fluctuations directly in places of measurement is impossible. In

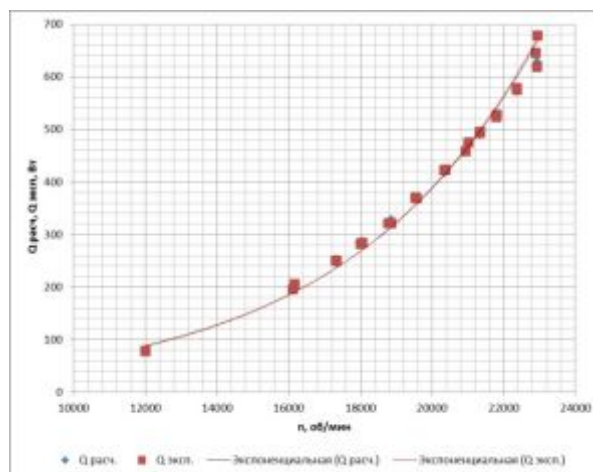


Рис. 1. Экспериментальные и расчётные кривые тепловыделения

Таким образом, получено критериальное уравнение для оценки потерь мощности на привод «гибридных» шарикоподшипников и, соответственно, рабочая температура подшипника.

Библиографический список

1. Демидович В.М. Исследование теплового режима подшипников ГТД. – М.: Машиностроение. 1978. – 178 с.
2. Арасланов А.М., Зайденштейн Г.И., Маливанов Н.Н. Тепловой режим подшипников ГТД. // Вестник Самарского университета Авиационно-космическая техника и технология, 2004, №7 (15).
3. Петров Н.И., Лаврентьев Ю.Л. Сравнение различных методов расчета тепловыделения в шариковых радиально-упорных подшипниках качения // Вестник Самарского университета. Авиационно-космическая техника и технология. 2018.