

зуба по ширине венца изменяется. Поэтому создание инструмента с $h_a^* > 1$ необходимо начинать с внутреннего торца, чтобы не было заострения на головке зуба на внутреннем торце.

Методика создания ИПК основана на методах, предложенных в работе [2,3], при которых угол зацепления $\alpha_w \geq 20^\circ$. Параметры исследуемых колес приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры конических передач

№	Число зубьев		Модуль m_{ze} , мм	Внешнее конусное расстояние R_e , мм	Ширина венца b_w	Коэффициент передачи ε_α	Угол зацепления α
	Z1	Z2					
1	32	33	4,34	99,749	30	2,05	20 °
2	32	33	4,2	99,685	30	1,383	24° 30′

Материал зубчатых колёс – сталь 13ХНВМ2Ф (ВКС-4). Зубья колёс подвергнуты сложной химико-термической обработке с газовой цементацией, обеспечивающей твёрдость поверхности 60...62HRC, шлифованные, обдугтые дробью.

Расчёт на контактную и изгибную прочность зубьев проводился с помощью программы ANSYS. Распределение нагрузки по ширине венца принималось пропорционально конусному расстоянию. Величина нагрузки была равна $T_1 = 500 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и $T_1^* = 600 \text{ Н}\cdot\text{м}$, что соответствовало крейсерскому и взлётному режимам двигателя.

Испытания проводились на стенде замкнутого типа. Номинальное положение колёс устанавливали по пятну контакта и по зазору, указанным в паспорте на данную пару.

При номинальном положении колёс коэффициент перекрытия ε_α соответствовал

расчётному значению, но при максимальной нагрузке ($T_1 = 680 \text{ Н}\cdot\text{м}$) возрастал на 5% [4].

Данные испытаний показали, что не-сущая способность передачи с $\varepsilon_\alpha > 2$ по сравнению с передачей $\varepsilon_\alpha < 2$ выросла на 40%.

Библиографический список

1. Кудрявцев В.Н. Детали машин. -л.: Машиностроение, 1980-464с.
2. Авиационные зубчатые передачи и редукторы: Справочник [Текст]/Под ред. Э. Б. Вулгакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 374 с., ил.
3. Суслин А.В., Оссала В.Б.А., Сорokin А.Д., Проектирование нестандартного исходного производящего контура/ XIV Королевские чтения, Самара, Самарский университет, 2017.С 334-335.
4. Алексеев В.Ч. Суслин А.В. повышение нагрузочной способности и долговечности высокоскоростных зубчатых передач/ Трение и износ,-1996. -том17№1-С.128...130.

УДК 621.822.9

РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ ДЛЯ ПРИ РАБОТЕ В СРЕДЕ ТОПЛИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

© 2018 Б.М. Силаев, А.П. Батурич

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

CALCULATION-EXPERIMENTAL ESTIMATION OF FRICTIONAL LOSSES IN ROLLING BEARINGS OF AIRCRAFT ENGINES WHEN OPERATING IN A FUEL LIQUID ENVIRONMENT

Silaev B.M., Baturin A.P. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The results of calculation and operational studies on the estimation of frictional losses in rolling bearings of aircraft engines when operating in a medium of low-viscosity fuel liquids are presented. The friction losses in the bearing

are proposed to be considered on the basis of the superposition principle as the sum of the losses in friction pairs formed by conjugations of its parts. Slip friction coefficients for real combinations of friction pairs in aviation kerosene TC-1, water and synthetic oil B-3B are determined experimentally.

Как известно [1,2], эксплуатация подшипников качения двигателей летательных аппаратов (ДЛА) в среде топливных жидкостей (авиакеросины, криогенные среды и др.) сопровождается рядом особенностей, а именно, режим трения в контактной зоне явно выраженный граничный, рабочие поверхности подвержены существенно выраженным износным явлениям, температурный режим экстремальный. Специфика условий работы указанных подшипников в потоке топливных жидкостей обусловлена тем, что они химически активны, имеют низкую вязкость по сравнению с обычно применяемыми жидкими маслами, а криогенные компоненты топлив (жидкие кислород и водород) создают глубокие низкие температуры.

Для рассматриваемых условий работы применяют специальные подшипники качения, конструктивные особенности которых заключаются в том, что несущие силовые детали-кольца и тела качения – изготавливают из специальных коррозионностойких и теплостойких сталей марок 95X18Ш и ЭИ-347Ш, а сепаратор выполняют массивным из антифрикционных и коррозионностойких материалов таких как латуни, бронзы, текстолиты специальных марок, полиамиды, фторполимеры и их композиции с различными наполнителями.

В ряде работ [2,3,4] показано, что весьма важным для обеспечения работоспособности подшипников качения в указанных условиях является определение потерь на трение, что в свою очередь, вызывается необходимостью назначения требуемой величины прокачки рабочего продукта через подшипник для снятия тепловых потоков и снижения интенсивности изнашивания рабочих поверхностей.

В настоящее время общее сопротивление в подшипниках качения, работающих со смазыванием жидкими маслами, делают интегрально через момент сил трения, с учётом действующей нагрузки и приведённого коэффициента трения. Для подшипников, эксплуатируемых в среде маловязких топливных жидкостей, приведённый коэффициент

трения не определён в виду значительных трудностей проведения экспериментов.

В данной работе предлагается системный подход к определению потерь на трение в подшипниках качения ДЛА при работе в среде маловязких топливных жидкостей. При этом подшипник рассматривается как некоторая система, элементы которой при функционировании образуют между собой соответствующие пары трения: кольца с телами качения составляют пары трения качения с проскальзыванием сталь по стали; тела качения с сепаратором – пары трения скольжения сталь – полимер или цветной металл; центрирующее кольцо подшипника с сепаратором так же образует пару трения скольжения сталь – полимер или цветной металл.

Исходя из данной предпосылки, потери на трение в подшипниках качения при работе в топливных средах предложено определять согласно принципа суперпозиции как сумма потерь в отдельных парах трения в результате воздействия сил трения. Для этого определены силы для каждой пары трения с учётом всех воздействующих на подшипник качения факторов, а именно, заданных нагрузок, а также кинематических, гидромеханических и трибологических характеристик.

В связи с недостатком данных в научно – технической и справочной литературе о трибологических характеристиках для сочетаний материалов пар трения в подшипниках качения, предназначенных для работы в среде маловязких топливных жидкостей, были выполнены экспериментальные исследования по определению коэффициентов трения скольжения для сопряжённых пар. Материалы образцов пар трения и их шероховатость комплектовались такими, какие они формируются в натуральных деталях при изготовлении и сборке подшипников. Среда испытания – авиационный керосин ТС-1, фильтрованная водопроводная вода и синтетическое масло Б-3В. Испытания проводились на трибометре Швейцарской фирмы CSM Instruments с осуществлением схемы трения плоскость - шар.

Таким образом, полученные результаты исследований величин коэффициентов трения скольжения подшипниковых пар материалов в исследуемых средах позволяют произвести оценку потерь на трение в подшипниках качения и более точно определить рациональные параметры их функционирования.

Библиографический список

1. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения. 2-е изд. перераб. И доп./ Б.Д. Воронков –Л.: Машиностроение, 1979.- 224с.

2. Силаев Б.М. Трибология деталей машин в маловязких смазочных средах/ Б.М. Силаев – Самара: Изд. Самарского государственного Аэрокосмического университета, 2008 – 264с.

3. Опоры осей и валов машин и приборов/[Н.А. Спицын и др.] – М.: Машиностроение, 1970. – 250 с.

4. Демидович В.М. Исследование теплового режима подшипников ГТД/ В.М. Демидович – М.: Машиностроение.

УДК 681.518.2

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К СИСТЕМАМ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2018 И.Т. Губайдуллин, А.В. Минеев

АО Уфимское научно-производственное предприятие «Молния», г. Уфа

THE ANALYSIS OF THE BASIC TECHNICAL REQUIREMENTS FOR BLADE-TIP CLEARANCE MEASURING SYSTEMS FOR GAS-TURBINE ENGINE

Gubaydullin Y.T., Mineev A.V. (Joint stock company Research-and-production enterprise «Lightning», Ufa, Russian Federation)

The analysis of technical requirements (TRs) for aircraft gas turbine engines (GTE) for radial clearance measurement systems (RCMS), as well as characteristics and parameters of experimental equipment, was carried out. The main technical solutions used in the equipment are investigated, expert estimates of the relevance and feasibility of the main TRs are given. Based on the experience of creating optoelectronic equipment of a similar purpose, actualized and realistic TRs are formulated. The concept of phased implementation of innovative optical-electronic RCMS is proposed.

Одним из ресурсов, направленным на увеличение коэффициента полезного действия (КПД) авиационного ГТД, кроме повышения температуры газов перед турбиной, является комплекс конструкторских, технологических решений, направленных на предельно возможное уменьшение радиальных зазоров (РЗ). Ряд исследований [1,2] показывает, что увеличение относительной величины РЗ по торцам рабочих лопаток (РЛ) на 1% вызывает снижение КПД турбины на 1-2%, что обуславливает возрастание удельного расхода топлива $C_{уд}$ на 1,5...2%. Такое же изменение РЗ в компрессоре добавляет прирост $C_{уд}$ еще на 1,5...3%.

Создание промышленных средств измерения РЗ, отработка технологии адекват-

ного управления РЗ на всех этапах жизненного цикла ГТД является крайне актуальной.

Анализ технических требований и характеристик СИРЗ

Бесконтактные СИРЗ применяются, благодаря возможности получения данных о характере изменения РЗ в процессе работы газогенератора и возможности реализации технологии с активным управлением РЗ со следящей обратной связью. Несмотря на доступность СИРЗ, построенных на различных физических способах измерения, практика их применения пока ограничена нерегулярными эпизодическими испытаниями на стендах при доводке опытных образцов ГТД. Основными факторами препятст-