

МЕТОД РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

© 2011 Е.П. Жильников

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 19.11.2010

В работе приводится метод расчета долговечности авиационных подшипников качения с учетом точности изготовления, качества материала и условий эксплуатации.

Ключевые слова: подшипники качения, долговечность

Авиационные подшипники, как правило, имеют долговечность выше рассчитанной по стандартным методикам. Это объясняется рядом причин: более высокая точность изготовления, более высокое качество применяемых подшипниковых материалов, лучшие условия организации смазывания подшипников и др.

Обширные исследования и большой опыт работы позволили ЦИАМ [1] и фирме FAG [2] разработать рекомендации по уточнению методики расчета долговечности авиационных подшипников качения.

На базе рекомендаций [1] и [2] с учетом наших исследований расчет долговечности авиационных подшипников предлагается выполнять по формуле:

$$L_{ha} = L_h a_1 a_{23} a_{\phi}, \quad (1)$$

где L_h – расчетное значение номинальной долговечности подшипника, определяемое по [3]; a_1, a_{23} и a_{ϕ} – поправочные коэффициенты. При этом долговечность L подшипника в миллионах оборотов вращающегося кольца с учетом рекомендаций ЦИАМ определяется по формуле

$$L = (C_{ав} / P)^m. \quad (4)$$

Здесь: $C_{ав}$ – динамическая грузоподъемность авиационного подшипника с учетом точности изготовления и материала подшипника;

P – приведенная динамическая нагрузка.

При расчете приведенной динамической нагрузки значения коэффициента безопасности $K_б$ рекомендуется определять с учетом рекомендаций ЦИАМ по табл. 1.

Если подшипник работает при переменных режимах, в которых ступенчато изменяются нагрузки и частота вращения, эквивалентная долговечность определяется по формуле [4]:

$$L_h = \left(\sum_{j=1}^J \frac{t_j}{t_h} (L_{hj})^{-1} \right)^{-1}$$

Здесь: J – число режимов работы; t_j / t_h – относительная продолжительность работы на j -том режиме; L_{hj} – расчетная долговечность на j -том режиме.

При этом долговечность L_{hj} на j -том режиме должна определяться с учетом условий смазывания на этом режиме и влияния центробежных сил.

При расчете при переменном режиме работы не учитываются режимы, для которых приведенная динамическая нагрузка меньше нагрузки, соответствующем пределу контактной выносливости подшипниковых сталей $P_j < P_u$.

По рекомендациям фирмы SKF [5] нагрузку P_u можно принять приближенно:

$$P_u = C_0 / 9 \text{ – для роликовых подшипников,}$$

$$P_u = C_0 / 27 \text{ – для шариковых подшипников.}$$

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Динамическая радиальная расчетная грузоподъемность подшипников для авиационных изделий, в которых размеры тел качения и их число не отличаются от подшипников, приводимых в каталогах, может быть принята по каталогу для стандартных подшипников общего применения или определена по ГОСТ 18855-94, но с учетом коэффициента качества изготовления подшипника:

$$C_{ав} = C \cdot K_{кач}.$$

Здесь: $C_{ав}$ – базовая динамическая радиальная расчетная грузоподъемность подшипника для авиационных изделий; C – базовая

Жильников Евгений Петрович, кандидат технических наук, профессор кафедры "Основы конструирования машин". E-mail: okm@ssau.ru.

Таблица 1. Значения коэффициента безопасности

Характер нагрузки на подшипник	K_{σ}	Область применения
Спокойная нагрузка	1,00	Механизмы управления, приводы агрегатов малой мощности и приборов
Легкие толчки, небольшие вибрационные перегрузки	1,05... 1,10	Механизмы управления, редукторы приборов, агрегатов и насосов
Умеренные толчки и вибрации	1,15... 1,20	Главные редукторы вертолетов и газотурбинных двигателей
Значительные толчки и вибрации	1,25... 1,35	Опоры вала винта, электроагрегаты
Работа с сильными ударами и высокими вибрационными перегрузками	1,35... 1,60	Подшипники авиаколес

динамическая радиальная расчетная грузоподъемность подшипника по общему каталогу нулевого класса точности или определенная по ГОСТ 18855-94; $K_{кач}$ – коэффициент качества, принимаемый в зависимости от точности изготовления подшипника, материала деталей подшипника, твердости поверхности и их конструкции.

Коэффициент качества подшипников рекомендуется определять как произведение:

$$K_{кач} = K_m K_{см}$$

Здесь коэффициенты K_m и $K_{см}$ учитывают твердость рабочих поверхностей, материал деталей, точность изготовления и конструкцию подшипника.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА

Для оценки качества подшипников, предназначенных для работы при высоких температурах, вводится температурный коэффициент K_m . Этот коэффициент учитывает влияние пониженной твердости рабочих поверхностей на контактную выносливость подшипниковых материалов. Для подшипников из стали ШХ15 значение коэффициента можно определить по таблице 2.

Для подшипников из теплостойких сталей 8Х4В9Ф2, М50 и М50NiL при температуре до 300°С $K_m = 1$.

2. 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА И ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Многочисленными исследованиями установлено, что долговечность подшипников зависит как от качества материалов, так и от точности их изготовления, уровня технологии их производства. В этой связи фирмой FAG для авиационных подшипников, изготовленных по высокому и сверхвысокому классам точности, рекомендуется принять двукратное увеличение расчетной долговечности.

Указанные значения повышающего коэффициента учитывают уровень производства и опыт эксплуатации подшипников фирмы FAG. В этой связи величину коэффициента точности изготовления необходимо устанавливать каждой подшипниковой фирме. В частности, многолетние статистические данные испытаний подшипников ПО ГПЗ-4 и ОАО ЗАП указывают, что долговечность основных типов подшипников превышает расчетную в 2...5 раз. Окончательные значения повышающих коэффициентов должны устанавливаться каждым предприятием для выпускаемых им типов подшипников.

На основе обобщения опыта эксплуатации авиационных подшипников ЦИАМ рекомендуется при расчетах долговечности использовать

Таблица 2. Значение температурного коэффициента для подшипников из стали ШХ15

Обозначение	-	T	T1	T2	T3
Температура отпуска, °С	175	200	225	250	300
Твердость, HRC	60	58,5	57	56	53,5
Допустимая рабочая температура, °С	150	175	200	225	275
Коэффициент K_m	1,000	0,978	0,956	0,941	0,905

Таблица 3. Коэффициент качества $K_{ст}$

Классы точности подшипников	Материалы колец и тел качения подшипников					
	ШХ15			ШХ15Ш, ЭИ347Ш		
	Шариковые	Роликовые		Шариковые	Роликовые	
Цилиндрические		Бомбинированные	Цилиндрические		Бомбинированные	
0	1,0	1,0	1,25	1,30	1,25	1,40
6	1,20	1,15	1,30	1,35	1,35	1,50
5 и 4	1,30	1,25	1,40	1,45	1,45	1,60
2	1,40	1,30	1,45	1,55	1,55	1,65

обобщенный коэффициент, учитывающий как качество материала, так и класс точности изготовления подшипников. Значения обобщенного коэффициента приведены в табл. 3.

Для деталей подшипников, изготовленных предприятиями авиационной промышленности из цементуемой стали 12Х2Н4А обычной плавки и электрошлакового переплава, коэффициенты качества принимаются по таблице 3 равными коэффициентам качества подшипников, изготовленных из стали ШХ15 или ШХ15Ш соответственно.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ a_1 , a_{23} И a_{ϕ}

Для подшипников всех типов, изготавливаемых из сталей электрошлакового или вакуумного переплава значение коэффициента a_1 можно принять по табл. 4:

Таблица 4. Значение коэффициента a_1

вероятность безотказной работы	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
коэффициент a_1	1,00	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Таблица 5. Значение коэффициента K_{μ} , учитывающего влияние вязкости масла

Вязкость масла при температуре перед входом в подшипник, сСт.	Св. 35	Св. 25 до 35	Св. 15 до 25	Св. 8 до 15	Св. 2 до 8	2 и менее
K_{μ}	1,331-1,373	1,158-1,176	1,0	0,857-0,843	0,779-0,757	0,729-0,704

Таблица 6. Значение коэффициента K_{dn} , учитывающего влияние скорости вращения

Значение параметра $d_m n \cdot 10^{-6}$, мм·об/мин.	До 1,0	Св. 1,0 до 1,8	Св. 1,8 до 2,5	Св. 2,5
K_{dn}	1,0	1,158-1,176	1,331-1,373	1,521-1,593

Коэффициент a_{23} , учитывающий влияние на долговечность гидродинамических процессов, развивающихся в зоне контакта, на основе опыта ЦИАМ может быть определен в виде произведения:

$$a_{23} = K_{\mu} K_{dn}$$

Коэффициент K_{μ} , учитывающий влияние вязкости смазки, выбирается по табл. 5. Коэффициент K_{dn} , определяющий влияние скорости вращения на гидродинамические процессы в контактах, выбираются по табл. 6 в зависимости от параметра $d_m n$.

Здесь d_m - средний диаметр подшипника в мм, n - частота вращения в об/мин.

Опыт эксплуатации показывает, что на долговечность подшипника оказывают влияние загрязнения в смазочном материале.

По рекомендациям ЦИАМ коэффициент a_{ϕ} , учитывающий влияние чистоты смазки (тонкости фильтрации) на долговечность, выбирается по табл. 7.

Таблица 7. Значение коэффициента $a\phi$, учитывающего влияние чистоты масла

Абсолютная тонкость фильтрации, мкм.	Св. 80 до 100	Св. 50 до 80	Св. 30 до 50	Св. 30 до 20	Менее 20
$a\phi$	0,857-0,843	1,158-1,176	1,331-1,373	1,521-1,593	1,728-1,835

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика расчетной оценки долговечности подшипников качения авиационных двигателей и их агрегатов, требования к конструктивным параметрам опор. ЦИАМ. М: 1996. 30 с.
2. A Practical Method of Calculating the Attainable Life in Aerospace Bearing Applications. FAG Publ. №FL 40134 EA, 1990. P. 5.
3. ГОСТ 18855-94 (ИСО 281-90). Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность. Расчетный ресурс (долговечность). Москва, 1996. 29 с.
4. *Балякин В.Б., Жильников Е.П., Самсонов В.Н. Макаручук В.В.* Теория и проектирование опор роторов авиационных ГТД. Самара: СГАУ, 2007. 257 с.
5. SKF. Общий каталог. Изд. СКФ, 1989. 976 с.

METHOD OF THE SETTLEMENT ESTIMATION OF LONGEVITY OF BEARINGS AVIATION PRODUCTS

© 2011 E.P. Zhilnikov

Samara State Aerospace University

In work the method of calculation of longevity of aviation bearings taking into account accuracy of manufacturing, quality of a material and service conditions is resulted.

Keywords: bearings, longevity