

НОВАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОЛГОВЕЧНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ С УЧЁТОМ ИЗНОСА

Балякин В.Б., Пилла К.К.
Самарский университет, pilla.c@ssau.ru

Ключевые слова: подшипник качения, шарик, ролик, дорожка качения, износ, долговечность.

В процессе работы подшипников качения наблюдается проскальзывание тел качения, что обуславливает наличие трения скольжения в контакте с беговыми дорожками [1]. Это приводит к износу тел качения и беговых дорожек в процессе работы и увеличению радиального зазора в подшипнике [2]. Теоретические и экспериментальные [3] исследования показали существенное влияние геометрических параметров на характеристики подшипников качения. Кроме этого, увеличение зазора в подшипниках качения влияет на жёсткость опор роторов и как следствие на собственные частоты системы [4, 5]. Следовательно, очень важно знать истинное значение радиального зазора в подшипниках качения, который меняется в процессе работы и учитывать это при расчёте характеристик подшипников качения.

В результате проведенных экспериментов были получены данные о зависимости интенсивности износа тел качения [3] и беговых дорожек от контактных напряжений. Эксперименты проводились на трибометре при пяти разных контактных напряжениях, и на основе полученных данных был построен график зависимости коэффициента интенсивности изнашивания от контактных напряжений для основных подшипниковых сталей ШХ-15, ШХ-15Ш, 8Х4В9Ф2(ЭИ347) и 95Х18 (рис. 1).

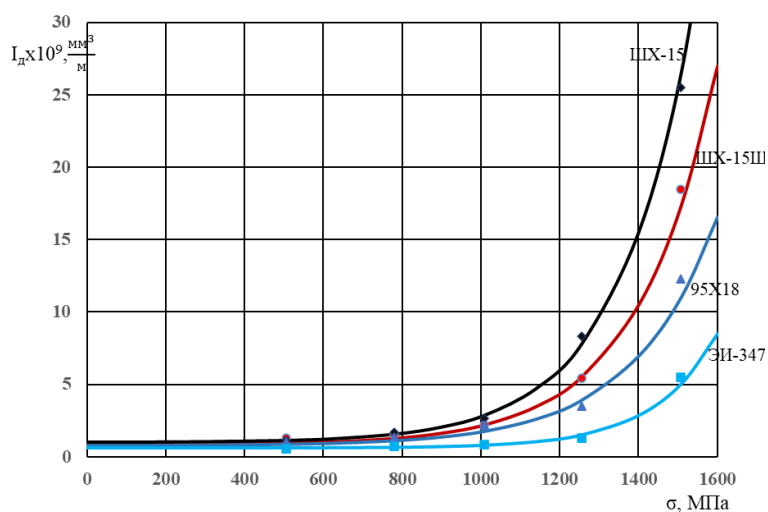


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности изнашивания кольца от контактных напряжений

Величина износа наружной и внутренней беговой дорожки будет различной, так как будут различными линейные скорости скольжения тел качения и контактные напряжения. Поэтому отдельно определяем величину изменения зазора при износе внутренней и наружной дорожек качения от каждого тела качения, которое имеет контакт. Для роликового подшипника уравнения получим в следующем виде:

$$\Delta g_{\text{де}} = \sum_1^z \Delta g_{\text{де}i}, \text{ где } \Delta g_{\text{де}i} = \frac{I_{\text{де}i} v_g \Delta L_h}{\pi D_e l_p} - \text{ для внутренней дорожки качения; (1)}$$

$$\Delta g_{\text{дн}} = \sum_1^z \Delta g_{\text{дн}i}, \text{ где } \Delta g_{\text{дн}i} = \frac{I_{\text{дн}i} v_n \Delta L_h}{\pi D_n l_p} - \text{ для наружной дорожки качения. (2)}$$

Здесь $\Delta g_{\text{вн}}$ и $\Delta g_{\text{нар}}$ – износ внутренней и наружной дорожки качения от одного тела качения (ролик или шарик) на участке с расчётным значением контактных напряжений в $\sigma_{\text{вн}}$ и $\sigma_{\text{нар}}$ в контакте с внутренним и наружным кольцом соответственно, $I_{\text{вн}}$, $I_{\text{нар}}$ – интенсивности износа внутренней и наружной дорожек качения при расчётном значении контактных напряжений $\sigma_{\text{вн}}$ и $\sigma_{\text{нар}}$ в контакте с внутренним и наружным кольцами соответственно, $D_{\text{вн}}$ и $D_{\text{нар}}$ – диаметр внутренней и наружной беговой дорожки соответственно.

Авторами была разработана программа для расчета долговечности подшипника с учетом проскальзывания тел качения при определенном значении радиального зазора. Была разработана методика определения долговечности авиационных подшипников качения с учетом износа по следующему алгоритму:

1. Выполняем расчет долговечности подшипника L_{h0} при заданном исходном значении зазора g_1 без учета износа.
2. Полученное значение долговечности делим на $N=10...100$, получаем ΔL_h – время работы подшипника с промежуточным дискретным значением величины зазора.
3. По полученным из программы значениям скоростей скольжения V и напряжений σ_H в контакте каждого тела качения с наружным и внутренним кольцом определяем интенсивность изнашивания I .
4. Вычисляем величины износа тел качения, согласно работе [3].
5. Вычисляем величину износа беговых дорожек внутреннего и наружного колец от каждого тела качения, согласно уравнению (1) и (2) соответственно.
6. Вычисляем новое значение зазора

$$g_{j+1} = g_j + 2(\Delta g_{\text{вн}} + \Delta g_{\text{нар}} + \Delta g_{\text{вн}} + \Delta g_{\text{нар}}).$$

7. Выполняем расчет долговечности L_{hj+1} с новым значением зазора g_{j+1} и повторяем с п. 2 N раз.
8. Вычисляем эквивалентную долговечность подшипника с учетом износа:

$$L_h = \left(\sum_{j=1}^N L_{hj}^{-1} \right)^{-1} \cdot N.$$

Износ тел качения и дорожек качения приводит к увеличению радиального зазора. Долговечность подшипников качения зависит от их износа. Долговечность рассматриваемого подшипника с учетом износа возрастает. Показано, что погрешность в определении долговечности без учета износа может достигать 50% (рис. 2).

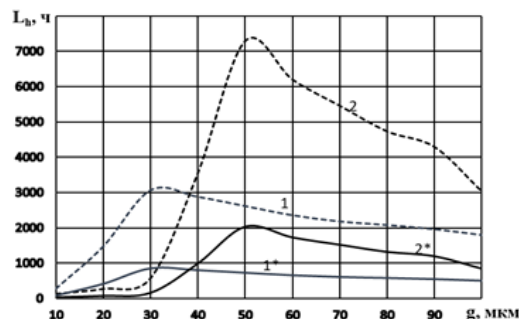


Рисунок 2 – Зависимость долговечности подшипника 5–272822 P2 от радиального зазора

- – без учёта вероятности неразрушения деталей опорного узла;
- – с учётом вероятности неразрушения деталей опорного узла;
- 1, 1* – при частотах вращения колец $n_e=10200$ об/мин и $n_n=13300$ об/мин;
- 2, 2* – при частотах вращения колец $n_e=7200$ об/мин и $n_n=9300$ об/мин

Разработанная методика может быть применена для расчета долговечности роликовых и шариковых подшипников с повышенными требованиями по надежности. Тема: износ тел качения и беговых дорожек в подшипниках качения, методика расчета долговечности подшипников с учетом износа.

Список литературы

1. Подшипники качения: Справочник-каталог / Л.В. Черневский, Р.В. Коросташевский, Б.А. Яхин и др.: под ред. Л.В.Черневского и Р.В. Коросташевского. М.: Машиностроение, 1997. 896 с.
2. Королев А.А., Королев А.В. Влияние геометрических параметров рабочих поверхностей шарикоподшипника на его работоспособность // Трение и износ. 2015. т. 36, № 2. С. 244-248.
3. Balyakin, V.B., Zhilnikov, E.P., Pilla, K.K. Method for Calculating the Fatigue Life of Bearings Taking into Account Wearing of Rolling Elements (2020) Journal of Friction and Wear, 41 (4), PP. 359-364.
4. Belousov A.I., Balyakin V.B. A methodology for providing the dynamic characteristics of rotor bearings // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Aviatsionnaya Tekhnika, Issue 3, 2002, P. 31-35.
5. Балякин В.Б. , Жильников Е.П. , Макачук В.В. , Самсонов В.Н. Теория и проектирование опор роторов авиационных ГТД. Самара: Издательство Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 254 с.

Сведения об авторах

Балякин Валерий Борисович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой основ конструирования машин. Область научных интересов: Опоры роторов турбомашин.

Пилла Кловис Коие, к.т.н., старший преподаватель кафедры основ конструирования машин. Область научных интересов: Проектирование деталей машин, зубчатые передачи, подшипники качения.

METHOD OF CALCULATING THE FATIGUE LIFE OF ROLLING BEARINGS WITH CONSIDERATION OF THE WEAR OF ROLLING BODIES AND RACEWAYS

Balyakin V.B., Pilla C.K.

Samara National Research University, pilla.c@ssau.ru

Keywords: rolling bearing, ball, roller, wear, fatigue life, raceway.

The dependence of wear rate of rolling elements and wear rate of raceways with respect to contact stress was experimentally determined. The experiments were carried out on a tribometer at five different contact stresses, and from the obtained experimental data, graphs were plotted of the dependence of the wear intensity factor of the rolling element and the ring on contact stresses. A software was developed for calculating the durability of a bearing, considering the sliding of the rolling elements at a certain discrete value of the radial clearance. Based on the experimental data of the wear of rolling bodies and raceways, a method was developed for calculating the fatigue life of rolling bearings with consideration of this wear data. It is shown that the wear of the rolling elements and raceways leads to an increase in the radial clearance. It was found that the fatigue life of rolling bearings depends significantly on their wear. It is shown that the error in determining the fatigue life without considering wear, depending on the operating conditions of the bearing, can reach 50%. The developed technique can be used for calculating the fatigue life of roller and ball bearings with increased reliability requirements.