

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШАРНИРОВ

*Алисин В.В.*

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,  
Москва*

**Ключевые слова:** шарнир, сопряжение вал-втулка, зазор в подшипнике скольжения, интенсивность изнашивания, ресурс работы.

**Аннотация.** В статье изложен методический подход к прогнозу ресурса работы цилиндрического шарнира, выполненного в виде сопряжения вал-втулка. Особенностью предлагаемого аналитического подхода является учет фактической площадки контакта вала с цилиндром близкого радиуса, которая зависит от величины зазора между валом и втулкой. Отмечена важность учета теплового состояния шарнира и показан путь учета влияния теплового фактора на интенсивность изнашивания поверхностей трения в шарнире. Рекомендации по применению метода расчета износостойкости шарнира направлены на сокращение трудоемкости подбора труднообрабатываемых материалов на этапе конструирования шарнира.

## FORECASTING THE SERVICE LIFE OF CYLINDRICAL HINGES

*Alisin V.V.*

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow*

**Keywords:** hinge, shaft-sleeve coupling, clearance in the sliding bearing, wear intensity, service life.

**Abstract.** The article presents a methodological approach to forecasting the service life of a cylindrical hinge made in the form of a shaft-sleeve coupling. A feature of the proposed analytical approach is to take into account the actual contact area of the shaft with the cylinder of a close radius, which depends on the size of the gap between the shaft and the sleeve. The importance of taking into account the thermal state of the hinge is noted and the way of taking into account the influence of the thermal factor on the intensity of wear of the friction surfaces in the hinge is shown. Recommendations on the application of the method of calculating the wear resistance of the hinge are aimed at reducing the complexity of selecting hard-to-process materials at the stage of designing the hinge.

**Введение.** Возвратно-вращающиеся цилиндрические шарниры выполненные в виде вала и втулки относятся к числу наиболее распространенных в технике узлов трения. Стремление увеличения ресурса их работы приводит к применению для изготовления втулок материалов с высокой твердостью и износостойкостью, в частности керамических материалов [1]. Трибологические испытания по определению ресурса работы шарнира очень дороги, поэтому применение расчетных методик очень актуально. Совершенствованию надежности работы шарнирных узлов уделяется много внимания. В работе [2] исследуются механизмы блокировки двери и шасси воздушного судна, от которых требуется чрезвычайно высокая надежность. Разработан анализ надежности на основе запаса прочности, учитывающий ухудшение характеристик, вызванное износом. Исследуется влияние на износ свойств

материалов и условия эксплуатации. В работе [3] отмечается, что в процессе проектирования возникает проблема с учетом множества геометрических параметров и сложных соотношений между нагрузками, деформациями и растяжениями, которые требуют большого количества аналитических вычислений. Из этого возникает необходимость в достаточных моделях вычислительного анализа с низким временем вычисления, сравниваются различные модели вычисления износа шарниров. В процессе анализа работы шарниров и влияния износа широко применяется [4] численное моделирование методом конечных элементов. Важную роль для доказательства достоверности результатов расчетов отводится [5] обоснованию расчетных моделей для оценки ресурса работы трибосопряжения по условию предельно допустимого износа.

**Цель работы** – разработать методику прогнозирования ресурса работы цилиндрического шарнира по критерию предельного износа.

**Результаты.** Температура окружающей среды влияет на трибологические характеристики цилиндрического шарнира, потому что меняются механические свойства материалов и геометрические размеры тел. Вследствие температурных деформаций деталей изменяется величина радиального зазора в подшипнике  $\varepsilon$ . В зависимости от коэффициентов линейного расширения сопряженных материалов с ростом температуры возможно уменьшение величины радиального зазора в подшипнике  $\varepsilon$  до нуля. Увеличение температуры приводит к возникновению дополнительных контактных напряжений, увеличению коэффициента трения. Возможен задир контактирующих поверхностей и полная остановка подшипника.

Величину радиального зазора в подшипнике  $\varepsilon_\theta$  в зависимости от температуры окружающей среды  $\theta$  можно оценить по приближенной зависимости.

Величину радиального зазора в подшипнике  $\varepsilon_\theta$  в зависимости от температуры окружающей среды  $\theta$  можно оценить по приближенной зависимости

$$\varepsilon_\theta \approx \varepsilon_o - (\lambda_1 - \lambda_2)r_1\theta,$$

где  $\varepsilon_o$  – радиальный зазор в подшипнике при  $\theta = 20^\circ\text{C}$ ;  $r_1$  – радиус вала;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – температурные коэффициенты линейного расширения материалов вала и втулки подшипника скольжения. В случае, если  $\lambda_1 > \lambda_2$ , то температура, при которой полностью выбирается радиальный зазор  $\varepsilon_o$  ( $\varepsilon_\theta = 0$ ), будет равна

$$\theta_n \approx \varepsilon_o / (\lambda_1 - \lambda_2)r_1.$$

Контактные параметры сопряжения вал-втулка (подшипника скольжения) определяли из решения контактной задачи теории упругости при внутреннем сжатии двух цилиндрических тел, радиусы которых почти равны между собой (рис. 1).

Ресурс работы подшипника скольжения  $T$  определяется соотношением

$$T = \frac{[h] - \varepsilon_\theta}{2\pi r_1 n_1 \left[ J_2 + \left( \frac{\Phi_o}{\pi} \right) J_1 \right]},$$

где  $[h]$  – суммарный предельно допустимый износ вала и втулки подшипника;  $\varepsilon_\theta$  – радиальный зазор в подшипнике с учетом температуры окружающей среды;

$\varepsilon_\theta = r_2 - r_1$  ( $r_2$  – радиус втулки,  $r_1$  – радиус вала);  $n_1$  – частота вращения вала;  $J_1$  и  $J_2$  – интенсивности изнашивания материалов вала и втулки подшипника;  $\varphi_0$  – половина угла зоны контакта вала и втулки под нагрузкой  $P$ .

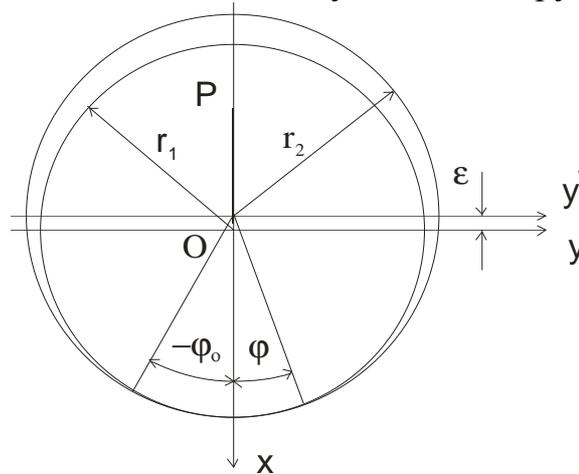


Рис. 1. Геометрические параметры сопряжения вал-втулка

Для определения ресурса работы подшипника скольжения необходимо знать геометрические размеры подшипника, режим его работы, триботехнические характеристики материалов подшипника, размер контактной зоны  $2\varphi_0$  и величину контактного давления  $p$  вдоль нее, а также задаться предельно допустимым износом  $[h]$ .

Ресурс работы шарнира  $T$  рассчитывается на основе геометрических размеров подшипника, его физико-механических свойств при температуре окружающей среды. По величине радиального зазора в подшипнике  $\varepsilon_\theta$  при температуре  $\theta$  вычисляются угол контакта  $2\varphi_0$  и максимальное контактное давление  $p_{\max}$ . Определяется (расчетом или экспериментально) интенсивности изнашивания для материалов вала и втулки  $J_1$  и  $J_2$ , по которым устанавливается ресурс работы подшипника скольжения  $T$ .

#### Список литературы

1. Добычин М.Н., Никулин А.В., Сачек Б.Я. Исследование триботехнических характеристик материалов на основе диоксида циркония в паре с титановым сплавом вт-9 // Трение и износ. – 2012. – Т. 33, № 2. – С. 119-124.
2. Li X.Y., Chen W.B., Kang R. Performance margin-based reliability analysis for aircraft lock mechanism considering multi-source uncertainties and wear // Reliability Engineering & System Safety. 2021, vol. 205, p. 107234.
3. Felix Harfensteller F., Stefan Henning S., Lena Zentner L., Stephan Husung S. Modeling of corner-filletted flexure hinges under various loads // Mechanism and Machine Theory. 2022, vol. 175, p. 104937.
4. Wei H., Shirinzadeh B., Tang H., Niu X. Closed-form compliance equations for elliptic-revolute notch type multiple-axis flexure hinges // Mechanism and Machine Theory. 2021, vol. 156, p.104154.
5. Павлов В.Г. Обоснование расчетных моделей для оценки ресурса работы трибосопряжения по условию предельно допустимого износа // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – № 11. – С. 24-32.

#### Сведения об авторе:

Алисин Валерий Васильевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник.