

УДК 621.822.833

## Взаимодействие торцов роликов и борта кольца конического роликоподшипника при гидродинамическом контакте

Я.М. Клебанов, А.М. Бражникова, К.А. Поляков

Самарский государственный технический университет,  
ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара 443100, Россия

Поступила в редакцию 20.09.2022.

После доработки 12.12.2022.

Принята к публикации 15.12.2022.

Износ контактирующих поверхностей является важной характеристикой взаимодействия торцов роликов и бортов колец роликовых подшипников. Целью данной работы явилась разработка эффективных методов расчёта скорости износа этих поверхностей при переменных динамических нагрузках. В расчётах скорости износа деталей подшипника как правило используется получивший экспериментальное подтверждение при гидродинамическом трении подшипниковых сталей закон Арчарда. На основании этого закона в статье построен метод прямого пошагового расчёта скорости износа торцов ролика и бортов колец при переменных контактных нагрузках и скоростях скольжения. В соответствии с ним изменение нормальной силы, скорости скольжения и толщины масляной плёнки в контакте определяется при динамическом расчёте подшипника, а для расчёта поля контактного давления применяется метод конечных элементов. Многомассовая модель динамики подшипника включает в себя модель контактного трения, позволяющую адекватно воспроизводить условия гидродинамического контакта твёрдых тел. С использованием зависимости долговечности подшипников от параметра масляного слоя и экспериментально замеренных скоростей износа подшипниковой стали получена зависимость коэффициента износа от параметра масляного слоя. Метод прямого расчёта включает большое количество вычислений, которые делают непрозрачным влияние на скорость износа отдельных факторов. В этой связи предложен также метод расчёта скорости износа по усреднённым параметрам. С помощью этих двух методов выполнены расчёты износа торцов ролика и борта внутреннего кольца двухрядного конического роликоподшипника. Рассмотрены сферическая форма торца ролика, коническая, торообразная выпуклая и вогнутая формы торца борта. Сопоставление значений скоростей износа, рассчитанных двумя методами, подтверждает приемлемую точность расчёта по усреднённым параметрам. Из полученных результатов, в частности, следует, что торообразная вогнутая поверхность торца борта позволяет до трёх раз уменьшить скорость износа в сравнении с конической поверхностью.

**Ключевые слова:** модель трения, контактное давление, коэффициент износа, гидродинамическое трение, закон Арчарда.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-6-594-602

**Адрес для переписки:**

Я.М. Клебанов  
Самарский государственный технический университет,  
ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара 443100, Россия  
e-mail: jklebanov@mail.ru

**Address for correspondence:**

I.M. Klebanov  
Samara State Technical University,  
Molodogvardeyskaya str., 244, Samara 443100, Russia  
e-mail: jklebanov@mail.ru

**Для цитирования:**

Я.М. Клебанов, А.М. Бражникова, К.А. Поляков.  
Взаимодействие торцов роликов и борта кольца конического роликоподшипника при гидродинамическом контакте.  
Трение и износ.  
2022. — Т. 43, № 6. — С. 594—602.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-6-594-602

**For citation:**

I.M. Klebanov, A.M. Brazhnikova, and K.A. Polyakov.  
[Tapered Roller Bearing Rib-Roller End Interaction at Hydrodynamic Contact].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 6, pp. 594—602 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-6-594-602

# Tapered Roller Bearing Rib-Roller End Interaction at Hydrodynamic Contact

I.M. Klebanov, A.M. Brazhnikova, and K.A. Polyakov

Samara State Technical University,  
Molodogvardeyskaya str., 244, Samara 443100, Russia

Received 20.09.2022.

Revised 12.12.2022.

Accepted 15.12.2022.

## Abstract

Wear of the contact surfaces is an important characteristic of rib-roller end interaction of roller bearings. The purpose of this work was to develop effective methods for calculating the wear rate of these surfaces under alternating dynamic loads. In wear rate calculations of bearing parts, as a rule, the Archard's law is used since it has been verified in hydrodynamic friction testing of bearing steels. In the paper, based on this law, a direct step-by-step wear rate calculation method for rib-roller end contact at variable loads and sliding speeds is developed. According to it, normal force, sliding velocity and contact oil film thickness are determined in bearing dynamic modeling, and the finite element method is used to calculate contact pressure fields. A multi-mass bearing dynamic model includes a contact friction model, which allows adequate description of hydrodynamic contact behavior of solid bodies. Using bearing life dependence on the oil film parameter and experimentally measured bearing steel wear rates, the dependence of wear coefficient on the oil film parameter is obtained. The direct calculation method involves many computations, which make individual factor influence on wear rate non-obvious. In this regard, a method of wear rate calculation with averaged parameters is also proposed. Using these two methods, rib-roller end wear calculations for a double-row tapered roller bearing are implemented. Spherical shape of the roller end, conical, toroidal convex and concave shapes of the rib are considered. Comparison of wear rates obtained by the two methods confirms acceptable accuracy of calculations with averaged parameters. The obtained results in particular demonstrate that toroidal concave rib surface allows reducing the wear rate up to three times in comparison with the tapered surface.

**Keywords:** friction model, contact pressure, wear coefficient, hydrodynamic friction, Archard's law.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-6-594-602

---

### Адрес для переписки:

Я.М. Клебанов  
Самарский государственный технический университет,  
ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара 443100, Россия  
e-mail: jklebanov@mail.ru

### Для цитирования:

Я.М. Клебанов, А.М. Бражникова, К.А. Поляков.  
Взаимодействие торцов роликов и борта кольца конического роликоподшипника при гидродинамическом контакте.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 6. – С. 594–602.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-6-594-602

---

### Address for correspondence:

I.M. Klebanov  
Samara State Technical University,  
Molodogvardeyskaya str., 244, Samara 443100, Russia  
e-mail: jklebanov@mail.ru

### For citation:

I.M. Klebanov, A.M. Brazhnikova, and K.A. Polyakov.  
[Tapered Roller Bearing Rib-Roller End Interaction at Hydrodynamic Contact].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 6, pp. 594–602 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-6-594-602

## Список использованных источников

1. **Перель Л.Я.** Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание опор. — М.: Машиностроение. — 1983
2. **Галахов М.А., Бурмистров А.И.** Расчет подшипниковых узлов. — М.: Машиностроение. — 1988
3. **Klebanov I.M., Murashkin V.V., Kondratev M.I., Adeyanov I.E., and Polyakov K.A.** Working in of Roller Ends and Bars of Cylindrical Roller Bearings at Combined Radial and Axial Loads // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2021 (**2094**), no. 4, 42—71
4. **Гайдамака А.В.** Роликоподшипники букс вагонов и локомотивов: моделирование и усовершенствование. — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2011
5. **Wirsching S., Marian M., Bartz M., Stahl T., and Wartzack S.** Geometrical Optimization of the EHL Roller Face/Rib Contact for Energy Efficiency in Tapered Roller Bearings // *Lubricants*. — 2021 (**9**), no. 7, 67—86
6. **Bayrak R. and Sagirli A.** Fatigue Life Analysis of the Radial Cylindrical Roller Bearings: Roller End-Flange Construction Effect // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. — 2022, 1—26
7. **Wang X.Y., Zhou C., and Ou Y.** Experimental Analysis of the Wear Coefficient for the Rolling Linear Guide // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2019 (**11**), no. 1, 1—7
8. **Morales-Espejel G.E. and Brizmer V.** Micropitting Modelling in Rolling—Sliding Contacts: Application to Rolling Bearings // *Tribology Transactions*. — 2011 (**54**), no. 4, 625—643
9. **Bamberger E., Harris T., Kacmarsky W., Moyer C., Parker R., Sherlock J., and Zaretsky E.** Life Adjustment Factors for Ball and Roller Bearings // *ASME Engineering Design Guide*. — 1971
10. **Liu C. H., Chen X.Y., Gu J.M., Jiang S.N., and Feng Z.L.** High-Speed Wear Lifetime Analysis of Instrument Ball Bearings // *Journal of Engineering Tribology*. — 2009 (**223**), no. 3, 497—510
11. **Клебанов Я.М., Мурашкин В.В., Поляков К.А., Данильченко А.И.** Динамическая нагруженность массивных сепараторов высокоскоростных шарикоподшипников // *Вестник машиностроения*. — 2017, № 11, 3—9
12. **Muraki M.** EHL Traction and Related Rheological Parameters under High Temperature Conditions // *Journal of Synthetic Lubrication*. — 1992 (**9**), no. 1, 29—43
13. **Клебанов Я.М., Москалик А.Д., Бражникова А.М.** Критическое скольжение в подшипниках качения при гидродинамическом трении // *Трение и износ*. — 2022 (**43**), № 4, 387—396
14. **Vengudusamy B., Enekes C., and Spallek R.** EHD Friction Properties of ISO VG 320 Gear Oils with Smooth and Rough Surfaces // *Friction*. — 2020 (**8**), no. 1, 164—181
15. **Kumar P. and Khonsari M.M.** Film Thickness Formulas: Point Contacts // *Encyclopedia of Tribology*. — 2013 (**3**), 1096—1099

## References

1. **Perel L.I.** Rolling bearings. Calculation, design and maintenance of supports. — M.: Mashinostroenie. — 1983 (in Russian)
2. **Galakhov M.A., Burmistrov A.I.** Calculation of bearing units. — M.: Mashinostroenie. — 1988 (in Russian)
3. **Klebanov I.M., Murashkin V.V., Kondratev M.I., Adeyanov I.E., and Polyakov K.A.** Working in of Roller Ends and Bars of Cylindrical Roller Bearings at Combined Radial and Axial Loads // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2021 (**2094**), no. 4, 42—71
4. **Gaidamaka A.V.** Roller bearing axleboxes for wagons and locomotives: modeling and improvement. — Kharkov: NTU “KhPI”. — 2011 (in Russian)
5. **Wirsching S., Marian M., Bartz M., Stahl T., and Wartzack S.** Geometrical Optimization of the EHL Roller Face/Rib Contact for Energy Efficiency in Tapered Roller Bearings // *Lubricants*. — 2021 (**9**), no. 7, 67—86
6. **Bayrak R. and Sagirli A.** Fatigue Life Analysis of the Radial Cylindrical Roller Bearings: Roller End-Flange Construction Effect // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. — 2022, 1—26
7. **Wang X.Y., Zhou C., and Ou Y.** Experimental Analysis of the Wear Coefficient for the Rolling Linear Guide // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2019 (**11**), no. 1, 1—7.
8. **Morales-Espejel G.E. and Brizmer V.** Micropitting Modelling in Rolling—Sliding Contacts: Application to Rolling Bearings // *Tribology Transactions*. — 2011 (**54**), no. 4, 625—643
9. **Bamberger E., Harris T., Kacmarsky W., Moyer C., Parker R., Sherlock J., and Zaretsky E.** Life Adjustment Factors for Ball and Roller Bearings // *ASME Engineering Design Guide*. — 1971
10. **Liu C. H., Chen X.Y., Gu J.M., Jiang S.N., and Feng Z.L.** High-Speed Wear Lifetime Analysis of Instrument Ball Bearings // *Journal of Engineering Tribology*. — 2009 (**223**), no. 3, 497—510
11. **Klebanov Y.M., Murashkin V.V., Polyakov K.A., and Danil’chenko A.I.** Dynamic Loading in High Speed Ball Bearings // *Russian Engineering Research*. — 2018 (**38**), no. 2, 65—71
12. **Muraki M.** EHL Traction and Related Rheological Parameters under High Temperature Conditions // *Journal of Synthetic Lubrication*. — 1992 (**9**), no. 1, 29—43
13. **Klebanov I.M., Moskalik A.D., Brazhnikova A.M.** Critical slip in rolling bearings under hydrodynamic friction // *Friction and wear*. — 2022 (**43**), no. 4, 387—396 (in Russian)
14. **Vengudusamy B., Enekes C., and Spallek R.** EHD Friction Properties of ISO VG 320 Gear Oils with Smooth and Rough Surfaces // *Friction*. — 2020 (**8**), no. 1, 164—181
15. **Kumar P. and Khonsari M.M.** Film Thickness

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
*Full text of articles can be purchased from the editorial office.*  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)