

УДК 539.622

## Проскальзывание в роликовых подшипниках при контактном гидродинамическом трении

Я.М. Клебанов, К.А. Поляков, В.Р. Петров, Н.А. Панкратова

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

Поступила в редакцию 19.04.2021.

После доработки 20.02.2022.

Принята к публикации 21.02.2022.

В работе рассмотрена известная модель гидродинамического трения, основанная на обобщённой зависимости Эйринга и учитывающая явление саморазогрева масляной плёнки. Вводится понятие эффективного коэффициента трения, использование которого позволяет выполнять динамические расчёты подшипников с учётом зависимости коэффициентов трения от циклически изменяющихся контактных сил без возрастания времени счета. Эффективные коэффициенты трения контактов с внутренним и наружным кольцами рассчитываются для диапазона заданных значений проскальзывания. В результате получаются зависимости эффективных коэффициентов трения от проскальзывания и сепаратора, и тел качения. Эти зависимости имеют такой же вид, как и обычные кривые трения: по мере роста проскальзывания эффективный коэффициент гидродинамического трения сначала увеличивается и достигает некоторого максимального значения, а после этого снижается, что вызывается саморазогревом масляной плёнки и снижением её вязкости. Уменьшение коэффициента трения при работе подшипника в свою очередь приводит к ещё большему проскальзыванию. Процесс с такой «положительной обратной связью», если его не прервать, приводит к все большему разогреву масла, уменьшению толщины масляной плёнки и, в итоге, к её разрыву, возникновению граничного трения, интенсивному износу и схватыванию. Величина проскальзывания сепаратора, при которой достигается максимум эффективного коэффициента трения на внутреннем кольце, является критической. В рассмотренном в статье примере критическое проскальзывание сепаратора составило 11 %. Допускаемое при работе подшипника проскальзывание должно быть определено с учётом запаса по отношению к его критическому значению.

**Ключевые слова:** заедание, динамика, эффективный коэффициент трения, контактное давление, масляная плёнка, саморазогрев.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-105-113

**Адрес для переписки:**

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

**Address for correspondence:**

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

**Для цитирования:**

Я.М. Клебанов, К.А. Поляков, В.Р. Петров, Н.А. Панкратова.  
Проскальзывание в роликовых подшипниках при контактном гидродинамическом трении.  
Трение и износ.  
2022. — Т. 43, № 1. — С. 105—113.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-105-113

**For citation:**

I.M. Klebanov, K.A. Polyakov, V.R. Petrov, and N.A. Pankratova.  
[Slip in Roller Bearings at Hydrodynamic Contact Friction].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 1, pp. 105—113 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-105-113

# Slip in Roller Bearings at Hydrodynamic Contact Friction

I.M. Klebanov, K.A. Polyakov, V.R. Petrov, and N.A. Pankratova

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

Received 19.04.2021.

Revised 20.02.2022.

Accepted 21.02.2022.

## Abstract

The work considered the known hydrodynamic friction model based on the generalized Eyring equation and taking into account the phenomenon of oil film self-heating. The concept of effective friction coefficient is introduced, the use of which makes it possible to perform bearing dynamic simulation taking into account the dependence of friction coefficients on cyclically changing contact forces without increasing the calculation time. The effective friction coefficients of the contacts with the inner and outer rings are calculated for the range of specified slip values. As a result, dependences of the effective friction coefficients on slippage of both the cage and the rolling elements are obtained. These dependences have the same form as conventional friction curves: as slip increases, the effective friction coefficient first increases and reaches a certain maximum value, and then decreases, which is caused by self-heating of the oil film and a decrease in its viscosity. A decrease in the friction coefficient during bearing operation, in turn, leads to even greater slippage. A process with such a “positive feedback”, if not interrupted, leads to an increasing heating of the oil, a decrease in the thickness of the oil film and, as a result, to its rupture, the occurrence of boundary friction, intense wear and seizure. The amount of cage slip that achieves the maximum effective friction coefficient on the inner ring is critical. In the example considered in the paper, the critical slip of the cage is 11 %. The slip allowed during operation of the bearing must be determined taking into account the margin in relation to its critical value.

**Keywords:** seizure, dynamics, effective friction coefficient, contact pressure, oil film, self-heating.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-105-113

---

### Адрес для переписки:

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

### Для цитирования:

Я.М. Клебанов, К.А. Поляков, В.Р. Петров, Н.А. Панкратова.  
Проскальзывание в роликовых подшипниках при контактном  
гидродинамическом трении.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 1. – С. 105–113.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-105-113

---

### Address for correspondence:

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

### For citation:

I.M. Klebanov, K.A. Polyakov, V.R. Petrov, and N.A. Pankratova.  
[Slip in Roller Bearings at Hydrodynamic Contact Friction].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 1, pp. 105–113 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-105-113

## Список использованных источников

1. **Kannel J.W. and Walowit J.A.** Simplified Analysis for Traction between Rolling–Sliding Elastohydrodynamic Contacts // *Journal of Lubrication Technology*. — 1971 (93), no. 1, 39—44
2. **Коднир Д.С., Жильников Е.П., Байбородов Ю.З.** Эластогидродинамический расчет деталей машин. — М.: Машиностроение. — 1988
3. **Sakaguchi T. and Ueno K.** Dynamic Analysis of Cage Behavior in a Cylindrical Roller Bearing // *NTN Technical Review*. — 2004, no. 71, 8—17
4. **Форд, Фурд.** Влияние изменения упруго гидродинамической силы сцепления на проскальзывание обоймы в роликовых подшипниках // *Проблемы трения и смазки*. — 1974, № 3, 73—80
5. **Поплавски.** Проскальзывание и силы, действующие на сепаратор в высокоскоростном роликоподшипнике // *Проблемы трения и смазки*. — 1972, № 2, 39—50
6. **Kragelskii I.V.** *Friction and Wear*. — London: Butterworths. — 1965
7. **Muraki M.** EHL Traction and Related Rheological parameters under High Temperature Conditions // *Journal of Synthetic Lubrication*. — 1992 (9), no. 1, 29—43
8. **Muraki M.** Molecular Structure of Synthetic Hydrocarbon Oils and Their Rheological Properties Governing Traction Characteristics // *Tribology International*. — 1987 (20), no. 6, 347—354
9. **Harris T.A. and Kotzalas M.N.** *Rolling Bearing Analysis. Essential Concepts of Bearing Technology*. — Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group. — 2007
10. **Балыкин В.Б., Жильников Е.П., Косенок Б.Б., Лаврин А.В.** Исследование влияния перекоса колец подшипников качения на момент трения и долговечность опор // *Трение и износ*. — 2016 (37), № 6, 693—698
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

## References

1. **Kannel J.W. and Walowit J.A.** Simplified Analysis for Traction between Rolling–Sliding Elastohydrodynamic Contacts // *Journal of Lubrication Technology*. — 1971 (93), no. 1, 39—44
2. **Kodnir D.S., Zhil'nikov Ye.P., Bayborodov Yu.Z.** *Elastogidrodinamicheskii raschet detaley mashin*. — M.: Mashinostroyeniye. — 1988 (in Russian)
3. **Sakaguchi T. and Ueno K.** Dynamic Analysis of Cage behavior in a Cylindrical Roller Bearing // *NTN Technical Review*. — 2004, no. 71, 8—17
4. **Ford R.A.J., Foord, C. A.** The Effects of Elastohydrodynamic Traction Behavior on Cage Slip in Roller Bearings // *ASME. Journal of Lubrication Technology*. — 1974 (96), no. 3, 370—375
5. **Poplawski J. V.** Slip and Cage Forces in a High-Speed Roller Bearing // *ASME. Journal of Lubrication Technology*. — 1972 (94), no. 2, 143—150
6. **Kragelskii I.V.** *Friction and Wear*. — London: Butterworths. — 1965
7. **Muraki M.** EHL Traction and Related Rheological Parameters under High Temperature Conditions // *Journal of Synthetic Lubrication*. — 1992 (9), no. 1, 29—43
8. **Muraki M.** Molecular Structure of Synthetic Hydrocarbon Oils and Their Rheological Properties Governing Traction Characteristics // *Tribology International*. — 1987 (20), no. 6, 347—354
9. **Harris T.A. and Kotzalas M.N.** *Rolling Bearing Analysis. Essential Concepts of Bearing Technology*. — Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group. — 2007
10. **Balyakin V.B., Zhilnikov E.P., Kosenok B.B., Lavrin A.V.** Study of the Influence of Ring Misalignment in Rolling Bearings on Frictional Torque and the Fatigue Life of Supports // *Journal of Friction and Wear*. — 2017 (38), no. 1, 7—12
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

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)