

УДК 621.822.1: 621.892.27

Конечноэлементный анализ упругогидродинамического трения: учет деформаций деталей опор скольжения

Н.Н. Рыбкин¹, М.В. Зернин¹, С.В. Шилько², Т.В. Дробыш²

¹Брянский государственный технический университет,
бульвар 50-летия Октября, 7, г. Брянск 242035, Россия

²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

Поступила в редакцию 12.01.2021.

После доработки 06.03.2021.

Принята к публикации 09.03.2021.

Предложена новая численная реализация конечноэлементного расчёта параметров упруго-гидродинамического трения в опорах скольжения. Для двумерного моделирования течения смазочной жидкости в зазоре между контактирующими телами используются треугольные конечные элементы первого порядка, а при анализе напряжённо-деформированного состояния тел сопряжения в трёхмерной постановке — двадцатиузловые конечные элементы. С целью повышения эффективности вычислений предложен новый двадцатиузловой конечный элемент, в котором совместные функции формы второго порядка дополнены несовместными функциями формы третьего порядка. Полученные таким образом квазисовместные аппроксимирующие полиномы третьего порядка позволяют сформировать достаточно точные сетки с малым количеством узлов. Важно, что точность расчёта сохраняется при моделировании тонких антифрикционных слоёв, когда длина большей стороны элемента в 100 и более раз превышает длину его меньшей стороны. Реализована итерационная схема с чередованием решений упругой и гидродинамической задач, в том числе позволяющая учесть несогласованность соответствующих сеток дискретизации. Результаты решения гидродинамической задачи в виде давлений приводятся к узловым силам на этапе формирования исходных данных для решения упругой задачи. Вычисленные при решении упругой задачи перемещения учитываются при корректировке зазоров в граничных условиях гидродинамической задачи.

Ключевые слова: опоры скольжения, антифрикционные покрытия, упругая деформация, течение смазки, температура, численное моделирование, квазисовместный конечный элемент.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-3-254-267

Адрес для переписки:

М.В. Зернин
Брянский государственный технический университет,
бульвар 50-летия Октября, 7, г. Брянск 242035, Россия
e-mail: zerninmv@mail.ru

Для цитирования:

Н.Н. Рыбкин, М.В. Зернин, С.В. Шилько, Т.В. Дробыш.
Конечноэлементный анализ упругогидродинамического трения:
учет деформаций деталей опор скольжения.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 3. — С. 254—267.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-3-254-267

Address for correspondence:

M.V. Zernin
Bryansk State Technical University,
bul'var 50-letiya Oktyabrya, 7, Bryansk 242035, Russia
e-mail: zerninmv@mail.ru

For citation:

N.N. Rybkin, M.V. Zernin, S.V. Shil'ko, and T.V. Drobysch.
[Finite Element Analysis of Elasto-Hydrodynamic Friction:
Taking into Account the Deformations of Sliding Bearing Parts].
Trenie i Iznos.

2021, vol. 42, no. 3, pp. 254—267 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-3-254-267

Finite Element Analysis of Elasto-Hydrodynamic Friction: Taking into Account the Deformations of Sliding Bearing Parts

N.N. Rybkin¹, M.V. Zernin¹, S.V. Shil'ko², and T.V. Drobysh²

¹*Bryansk State Technical University,
bul'var 50-letiya Oktyabrya, 7, Bryansk 242035, Russia*

²*V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Science of Belarus,
Kirov street, 32a, Gomel 246050, Belarus*

Received 12.01.2021.

Revised 06.03.2021.

Accepted 09.03.2021.

A new numerical implementation of the finite element calculation of the parameters of elasto-hydrodynamic friction in sliding bearings is proposed. Triangular finite elements of the first order are used for two-dimensional modeling of the flow of lubricating fluid in the gap between the contacting bodies. Twenty-node finite elements are used in the analysis of the stress-strain state of the conjugation bodies in a three-dimensional formulation. In order to increase the efficiency of computations, a new twenty-node finite element is proposed, in which the joint shape functions of the second order are supplemented with disjoint shape functions of the third order. The quasi-joint approximating polynomials of the third order obtained in this way allow us to form sufficiently accurate meshes with a small number of nodes. It is important that the accuracy of the calculation is preserved at modeling thin antifriction layers, when the length of the larger side of the element is 100 or more times the length of its smaller side. An iterative scheme is implemented with alternating solutions to elastic and hydrodynamic problems. It allows us to take into account the inconsistency of the corresponding discretization meshes. The results of solving the hydrodynamic problem in the form of pressures are reduced to nodal forces at the stage of generating the initial data for solving the elastic problem. The displacements calculated at solving the elastic problem are taken into account when adjusting the gaps in the boundary conditions of the hydrodynamic problem.

Keywords: sliding bearings, antifrictional coatings, elastic deformation, lubricant flow, temperature, numerical modeling, quasi-consistent finite element.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-3-254-267

Адрес для переписки:

*М.В. Зернин
Брянский государственный технический университет,
бульвар 50-летия Октября, 7, г. Брянск 242035, Россия
e-mail: zerninmv@mail.ru*

Для цитирования:

*Н.Н. Рыбкин, М.В. Зернин, С.В. Шилько, Т.В. Дробыш.
Конечноэлементный анализ упругогидродинамического трения:
учет деформаций деталей опор скольжения.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 3. — С. 254—267.*

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-3-254-267

Address for correspondence:

*M.V. Zernin
Bryansk State Technical University,
bul'var 50-letiya Oktyabrya, 7, Bryansk 242035, Russia
e-mail: zerninmv@mail.ru*

For citation:

*N.N. Rybkin, M.V. Zernin, S.V. Shil'ko, and T.V. Drobysh.
[Finite Element Analysis of Elasto-Hydrodynamic Friction:
Taking into Account the Deformations of Sliding Bearing Parts].
Trenie i Iznos.*

2021, vol. 42, no. 3, pp. 254—257 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-3-254-267

Список использованных источников

1. **Ghosh M.K., Majumdar B.C., and Sarangi M.** Theory of Lubrication. — New Delhi: Tata McGraw-Hill. — 2013
2. **Chauhan A., Singla A., Panwar N., and Jindal P.** CFD Based Thermo-Hydrodynamic Analysis of Circular Journal Bearing // Int. J. of Adv. Mech. Eng. — 2014 (4), no. 5, 475—482
3. **Gao G., Yin Z., Jiang D., and Zhang X.** Numerical Analysis of Plain Journal Bearing under Hydrodynamic Lubrication by Water // Tribology International. — 2014, no. 75, 31—38. doi:10.1016/j.triboint.2014.03.009
4. **Changdong Qiu, Ling Wang, Dichen Li, and Zhongmin Jin.** The Influence of Metallic Shell Deformation on the Contact Mechanics of a Ceramic-on-Ceramic Total Hip Arthroplasty // Proc. IMechE Part H: J. Eng. in Medicine. — 2015, 1—9. doi: 10.1177/0954411915614514
5. **Зернин М.В., Мишин А.В., Рыбкин Н.Н., Шилько С.В.** Гидродинамический анализ подшипников скольжения. Часть 1. Учет нецилиндричности рабочих поверхностей // Трение и износ. — 2014 (35), № 5, 584—595
6. **Зернин М.В., Рыбкин Н.Н., Шилько С.В., Рябченко Т.В.** Учет многозонного гидродинамического трения, перекоса осей и контактной податливости вала и втулки подшипников скольжения // Трение и износ. — 2017 (38), № 3, 269—279
7. **Савин Л.А., Соломин О.В.** Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения. — М.: Машиностроение-1. — 2006
8. **Шабров Н.Н.** Метод конечных элементов в расчётах деталей тепловых двигателей — Л.: Машиностроение. — 1983
9. **Зенкевич О., Морган К.** Конечные элементы и аппроксимация. — М.: Мир. — 1986
10. **Макеев Е.Г.** Конечноэлементная база для проектирования авиационных конструкций: автореф. дис. канд. техн. наук. — Куйбышев. — 1989
11. **Зернин М.В., Рыбкин Н.Н.** Трёхмерный конечный элемент для моделирования температурной, упругой и термоупругой составляющих в связанной задаче термоупругогидродинамики узлов трения // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. — 2016, № 5, 23—32
12. **Букер Д.Ф., Хьюбнер К.Х.** Применение метода конечных элементов в теории смазки: инженерный подход // ТАОИМ. Проблемы трения и смазки. — 1972, № 4, 22—33

References

1. **Ghosh M.K., Majumdar B.C., and Sarangi M.** Theory of Lubrication. — New Delhi: Tata McGraw-Hill. — 2013
2. **Chauhan A., Singla A., Panwar N., and Jindal P.** CFD Based Thermo-Hydrodynamic Analysis of Circular Journal Bearing // Int. J. of Adv. Mech. Eng. — 2014 (4), no. 5, 475—482
3. **Gao G., Yin Z., Jiang D., and Zhang X.** Numerical Analysis of Plain Journal Bearing under Hydrodynamic Lubrication by Water // Tribology International. — 2014, no. 75, 31—38. doi:10.1016/j.triboint.2014.03.009
4. **Changdong Qiu, Ling Wang, Dichen Li, and Zhongmin Jin.** The Influence of Metallic Shell Deformation on the Contact Mechanics of a Ceramic-on-Ceramic Total Hip Arthroplasty // Proc. IMechE Part H: J. Eng. in Medicine. — 2015, 1—9. doi: 10.1177/0954411915614514
5. **Zernin M.V., Mishin A.V., Rybkin N.N., and Shil'ko S.V.** Hydrodynamic Analysis of Friction Bearings, Part 1: Consideration of Noncylindrical Working Surfaces // J. Frict. Wear. — 2014 (35), no 5, 396—406. doi.org/10.3103/S106836661405016X
6. **Zernin M.V., Rybkin N.N., Shil'ko S.V., and Ryabchenko T.V.** Consideration of the Multizone Hydrodynamic Friction, the Misalignment of Axes, and the Contact Compliance of a Shaft and a Bush of Sliding Bearings // J. Frict. Wear. — 2017 (38), no. 3, 242—251. doi.org/10.3103/S1068366617030163
7. **Savin L.A., Solomin O.V.** Modelirovanie rotornykh sistem s oporami zhidkostnogo treniya. — М.: Mashinostroenie-1. — 2006
8. **Shabrov N.N.** Metod konechnykh elementov v raschetakh detaley teplovykh dvigateley. — Л.: Mashinostroenie. — 1983
9. **Zenkevich O., Morgan K.** Konechnye elementy i approksimatsiya. — М.: Mir. — 1986
10. **Makeev E.G.** Konechnoelementnaya baza dlya proektirovaniya aviatsionnykh konstruksiy: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. — Kuybyshev. — 1989
11. **Zernin M.V., Rybkin N.N.** Trekhmernyy konechnyy element dlya modelirovaniya temperaturnoy, uprugoy i termouprugoy sostavlyayushchikh v svyazannoy zadache termouprugogidrodinamiki uzlov treniya // Vestnik Bryanskogo gos. tekhn. un-ta. — 2016, № 5, 23—32
12. **Buker D.F., Khyubner K.Kh.** Primenenie metoda konechnykh elementov v teorii smazki: inzhenernyy podkhod // TAOIM. Problemy treniya i smazki. — 1972, № 4, 22—33

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

Web: <https://mpri.org.by/izdaniya/trenie-i-iznos/>