

УДК 531.4:536.241

Моделирование теплового процесса в полимерном подшипнике скольжения с возвратно-вращательным движением вала

Н.П. Старостин, Р.С. Тихонов

Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН,
ул. Автомоторная, д. 20, г. Якутск 677007, Республика Саха (Якутия), Россия

Поступила в редакцию 08.02.2022.

После доработки 21.08.2022.

Принята к публикации 22.08.2022.

Исследуется тепловой процесс в радиальном подшипнике скольжения из наполненного фторопласта, работающем в возвратно-вращательном режиме. Тепловой процесс в подшипнике скольжения описывался трехмерным уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах. Влияние возвратно-вращательного движения вала на нестационарное 3D температурное поле учитывалось конвективным членом уравнения теплопроводности. При допущении малости эксцентриситета подшипника предложена упрощённая запись условия фрикционного теплообразования в зоне контакта. Для определения нестационарного температурного поля в подшипнике скольжения использовался известный метод конечных разностей с расщеплением по пространственным переменным, заключающийся в поэтапном решении одномерных разностных уравнений. Для решения одномерного уравнения по угловой координате с конвективным членом, учитывающим возвратно-вращательное движение вала, использовалась монотонная разностная схема. Монотонная схема позволяет находить решение уравнения теплопроводности при любых шагах по временной и угловой переменной. Из множества таких приближенных решений предложено выбирать решение при числе Куранта равном 1. Рассматривается пример расчёта теплового процесса подшипника скольжения из Ф4К20 со следующими геометрическими размерами: радиус вала 0,0125; радиусы втулки — 0,01 и 0,016, длина вала и подшипника — 0,096 и 0,022 м. Вычислительные эксперименты проводились при одинаковой нагрузке 2400 Н и различных значениях амплитуды и частоты качаний. При частоте 1 Гц и амплитуде движения вала 60° отмечено периодическое колебание температуры во времени с амплитудой примерно 2,5 °С. Расчётами с варьированием теплоёмкости при конвективном члене показано, что колебания температур обусловлены движением вала. Разработанные методы расчёта могут быть использованы в качестве методики определения кинематических условий, при которых в математической модели теплового процесса необходимо учитывать скорость движения вала. Полученные результаты могут быть использованы при тепловой диагностике трения в реальных подшипниках скольжения.

Ключевые слова: подшипник скольжения, температура, расчёт, возвратно-вращательное движение, тепловой процесс, метод конечных разностей, тепловая диагностика трения.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-405-413

Адрес для переписки:

Р.С. Тихонов
Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН,
ул. Автомоторная, д. 20, г. Якутск 677007, Республика Саха
(Якутия), Россия
e-mail: roman_tikhon@mail.ru

Address for correspondence:

R.S. Tikhonov
Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the RAS,
Avtodorozhnaya street, 20, Yakutsk 677007, Russia
e-mail: roman_tikhon@mail.ru

Для цитирования:

Н.П. Старостин, Р.С. Тихонов.
Моделирование теплового процесса в полимерном подшипнике
скольжения с возвратно-вращательным движением вала.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 4. — С. 405—413.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-405-413

For citation:

N.P. Starostin and R.S. Tikhonov.
[Simulation of the Thermal Process in a Polymeric Sliding Bearing
with Swinging Movement of the Shaft].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 4, pp. 405—413 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-405-413

Simulation of the Thermal Process in a Polymeric Sliding Bearing with Swinging Movement of the Shaft

N.P. Starostin and R.S. Tikhonov

*Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the RAS,
Avtodorozhnaya street, 20, Yakutsk 677007, Russia*

Received 08.02.2022.

Revised 21.08.2022.

Accepted 22.08.2022.

Abstract

The thermal process in a radial bearing sliding made of filled PTFE, operating in a swinging movement mode, is investigated. The thermal process in the sliding bearing was described by a three-dimensional heat conduction equation in cylindrical coordinates. The influence of the swinging movement of the shaft on the nonstationary 3D temperature field was taken into account by the convective term of the heat equation. Assuming the smallness of the eccentricity of the bearing, simplicity of the condition of frictional heat generation in the contact zone is proposed. To determine the non-stationary temperature field in the sliding bearing, the well-known finite difference method was used with splitting in spatial variables, which consists in the step-by-step solution of one-dimensional difference equations. A monotone difference scheme was used, to solve the one-dimensional equation in the angular coordinate with the convective term, which takes into account the swinging movement of the shaft. The monotonic scheme makes it possible to find a solution to the heat equation for any steps in the time and angle variables. From the many of such approximate solutions, it is proposed to choose a solution with the Courant number equal to 1. An example of calculating the thermal process of the sliding bearing made of F4C20 with the following geometric dimensions is considered: shaft radius 0.0125; bushing radii — 0.013 and 0.016, shaft and bearing length — 0.096 and 0.022 m. Computational experiments were carried out with the same load of 2400 N and different values of the amplitude and frequency of oscillations. At a frequency of 1 Hz and shaft motion amplitude of 60°, periodic temperature fluctuations in time with amplitude of approximately 2.5 °C were noted. Calculations with varying heat capacity at the convective term show that temperature fluctuations are due to the movement of the shaft. The developed methods of calculation can be used as a technique for determining the kinematic conditions under which it is necessary to take into account the speed of the shaft in the mathematical model of the thermal process. The results obtained can be used in thermal friction diagnostics in real sliding bearings.

Keywords: sliding bearing, temperature, calculation, swinging movement, thermal process, finite difference method, thermal friction diagnostics.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-405-413

Адрес для переписки:

Р.С. Тихонов
Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН,
ул. Автоторожная, д. 20, г. Якутск 677007, Республика Саха
(Якутия), Россия
e-mail: roman_tikhon@mail.ru

Address for correspondence:

R.S. Tikhonov
Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the RAS,
Avtodorozhnaya street, 20, Yakutsk 677007, Russia
e-mail: roman_tikhon@mail.ru

Для цитирования:

Н.П. Старостин, Р.С. Тихонов.
Моделирование теплового процесса в полимерном подшипнике
скольжения с возвратно-вращательным движением вала.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 4. — С. 405—413.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-405-413

For citation:

N.P. Starostin and R.S. Tikhonov.
[Simulation of the Thermal Process in a Polymeric Sliding Bearing
with Swinging Movement of the Shaft].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 4, pp. 405—413 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-405-413

Список использованных источников

1. Старостин Н.П., Кондаков А.С., Васильева М.А. Тепловая диагностика трения в самосмазывающихся радиальных подшипниках скольжения возвратно-вращательного движения. Часть 2. Учет в математической модели подвижности вала // Трение и износ. — 2010 (31), № 6, 590—594
2. Starostin N.P., Kondakov A.S., and Vasil'eva M.A. Thermal Diagnostics of Friction in Self-Lubricating Radial Plain Bearings of Swinging Movement. Part 2. Accounting for Shaft Mobility in the Mathematical Model // Journal of Friction and Wear. — 2010 (31), no. 6, 449—452
3. Starostin N.P., Kondakov A.S., and Vasilieva M.A. Identification of Friction Heat Generation in Sliding Bearing by Temperature Data // Inverse Problems in Science and Engineering. — 2013 (21), no. 2, 298—313
4. Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена. — М.: Машиностроение. — 1988
5. Буря А.И., Пелешенко Б.И., Рула И.В. Определение температуры и плотности теплового потока в зоне контакта вал—втулка // Трение и износ. — 2011 (31), № 6, 582—589
6. Mihir K. Ghosh and David E. Brewе. The Effect of Coatings and Liners on Heat Transfer in a Dry Shaft-Bush Tribosystem // NASA Technical Memorandum — 02513, AVSCOM Technical Report 90-C-006
7. Колесников В.И., Колосова Е.М., Чебаков М.И. Моделирование нестационарного контактного взаимодействия в подшипнике скольжения с учетом тепловыделения от трения и конвективного теплообмена // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2016, № 2, 72—79
8. Колосова Е.М., Ляпин А.А., Чебаков М.И. Расчет термоупругого контактного взаимодействия в подшипнике скольжения // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2014, № 6, 73—75
9. Чичинадзе А.В., Браун Э.Д., Гинзбург А.Г., Игнатьева З.В. Расчет, испытание и подбор фрикционных пар. — М.: Наука. — 1979
10. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. — М.-Л.: Гостехиздат. — 1940
11. Самарский А.А. Теория разностных схем. — М.: Наука. — 1977
12. Тихонов Р.С., Старостин Н.П. Моделирование теплового процесса в системе подшипников на общем валу с учетом скорости его вращения // Трение и износ. — 2014 (35), № 6, 691—698

References

1. Starostin N.P., Kondakov A.S., and Vasilieva M.A. Identification of Friction Heat Generation in Sliding Bearing by Temperature Data // Inverse Problems in Science and Engineering. — 2013 (21), no. 2, 298—313
2. Starostin N.P., Kondakov A.S., and Vasil'eva M.A. Thermal Diagnostics of Friction in Self-Lubricating Radial Plain Bearings of Swinging Movement. Part 2. Accounting for Shaft Mobility in the Mathematical Model // Journal of Friction and Wear. — 2010 (31), no. 6, 449—452
3. Starostin N.P., Kondakov A.S., and Vasilieva M.A. Identification of Friction Heat Generation in Sliding Bearing by Temperature Data // Inverse Problems in Science and Engineering. — 2013 (21), no. 2, 298—313
4. Alifanov O.M. Obratnyye zadachi teploobmena. — M.: Mashinostroyeniye. — 1988 (in Russian)
5. Burya A.I., Peleshenko B.I., Rula I.V. Temperature and Density Determination for Heat Flux in the Area of the Shaft-Bushing Contact // Journal of Friction and Wear. — 2010 (31), no. 6, 443—448
6. Mihir K. Ghosh and David E. Brewе. The Effect of Coatings and Liners on Heat Transfer in a Dry Shaft-Bush Tribosystem // NASA Technical Memorandum — 02513, AVSCOM Technical Report 90-C-006
7. Kolesnikov V.I., Kolosova Ye.M., Chebakov M.I. Modelirovaniye nestatsionarnogo kontaktnogo vzaimodeystviya v podshipnike skol'zheniya s uchetom teplovydeleniya ot treniya i konvektivnogo teploobmena // Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin. — 2016, № 2, 72—79 (in Russian)
8. Kolosova Ye.M., Lyapin A.A., Chebakov M.I. Raschet termouprugogo kontaktnogo vzaimodeystviya v podshipnike skol'zheniya // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki. — 2014, № 6, 73—75 (in Russian)
9. Chichinadze A.V., Braun E.D., Ginzburg A.G., Ignat'yeva Z.V. Raschet, ispytaniye i podbor friktsionnykh par. — M.: Nauka. — 1979 (in Russian)
10. Shtayerman I.YA. Kontaktnaya zadacha teorii uprugosti. — M.-L.: Gostekhizdat. — 1940 (in Russian)
11. Samarskiy A.A. Teoriya raznostnykh skhem. — M.: Nauka. — 1977 (in Russian)
12. Tikhonov R.S. and Starostin N.P. Modeling of Thermal Processes in the Bearing System on a Common Shaft Taking into Consideration Its Rotational Speed // Journal of Friction and Wear. — 2014 (35), no. 6, 477—482

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