

УПОРНЫЙ ПОДШИПНИК С УПРУГОЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**Опацких Анастасия Николаевна***Ростовский государственный университет путей сообщения,
Ростов-на-Дону,***Колобов Игорь Анатольевич***кандидат техн. наук, доцент
Ростовский государственный университет путей сообщения,
Ростов-на-Дону,***Малоземов Владимир Николаевич***кандидат техн. наук, доцент
Ростовский государственный университет путей сообщения,
Ростов-на-Дону.*DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2019.1.43.10](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2019.1.43.10)**THRUST BEARING WITH ELASTIC SUPPORT SURFACE****Opatskikh Anastasia,***Rostov State Transport University, Rostov-on-Don,***Kolobov Igor Anatolyevich,***Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,**Rostov State Transport University, Rostov-on-Don,***Malozemov Vladimir Nikolaevich,***Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,**Rostov State Transport University, Rostov-on-Don.***Аннотация**

Статья посвящена формированию расчетных гидродинамических моделей упругодеформируемого с адаптированным к условиям трения профилем упорных подшипников скольжения с учетом зависимости проницаемости пористого покрытия на поверхности направляющей, электропроводности и вязкости жидкого смазочного материала от давления.

Abstract

The article is devoted to the formation of calculated hydrodynamic models of an elastically deformable profile of thrust bearings adapted to friction conditions, taking into account the dependence of the permeability of a porous coating on the guide surface, electrical conductivity and viscosity of a liquid lubricant on pressure.

Ключевые слова: гидродинамика; упорный подшипник скольжения; адаптированный профиль; упругая опорная поверхность.

Keywords: hydrodynamics; thrust bearing; adapted profile; elastic support surface.

В последнее время практический интерес вызывают исследования механических устройств с применением уплотнительно-смазочных материалов, как магнитные жидкости. Они широко используются в подшипниковых узлах в качестве смазочных материалов, обладающих электропроводящими свойствами.

Значительное количество исследований [1-2] посвящено подшипникам скольжения, работающим на электропроводящих смазочных материалах, обладающих демпфирующими свойствами. Анализ большинства публикаций [3-7] показывает, что в них не учитывается зависимость вязкости и

электропроводности жидкого смазочного материала, а так же проницаемости пористого слоя от давления. Кроме того, не учитывается деформация опорной поверхности подшипниковой втулки и адаптированным к условиям трения профилем.

Рассматривается установившееся течение электропроводящего жидкого смазочного материала в рабочем зазоре упорного подшипника скольжения с наклонным вкладышем, работающего в режиме гидродинамического смазывания с пористым покрытием на поверхности направляющей в условиях действия электромагнитного поля. Предполагается, что вкладыш неподвижен, а направляющая движется зазора с постоянной скоростью u^* (рис.1).

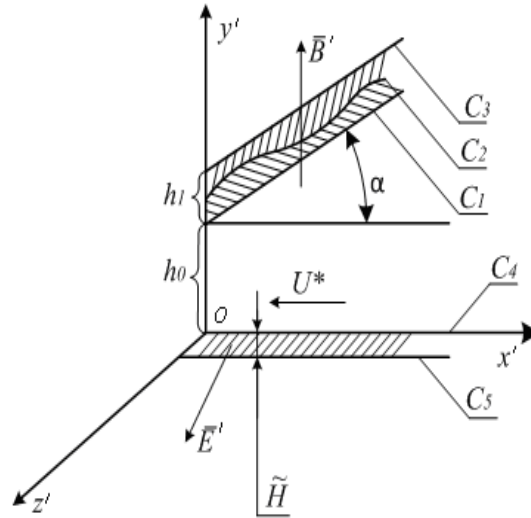


Рисунок 1. Расчетная схема

В декартовой системе координат уравнения адаптированного и деформируемого контуров 1, 2 и 3 и направляющей с пористым слоем на ее поверхности запишем в виде:

$$C_1 : y' = h_0 + x' tg\alpha - a' \sin \omega x' = H'(x')$$

- уравнение адаптированного недеформируемого контура ползуна;

Уравнение деформируемого адаптированного контура ищем в виде:

$$C_2 : y' = h_0 + x' tg\alpha - a' \sin \omega x' + a\varphi\left(\frac{x'}{L}\right) = H'(x'), \quad (1)$$

$C_3 : y' = h_1 + x' tg\alpha$ - уравнение недеформируемого контура, $C_4 : y' = 0$ - уравнение направляющей, $C_5 : y' = -\tilde{H}$ - уравнение направляющей с пористым слоем.

где \tilde{H} - толщина пористого слоя; α - угол наклона вкладыша к оси ox' ; L - длина подшипника скольжения; h_0 - толщина смазочной пленки в начальном сечении; $h_1 - h_0$ - толщина упругого слоя; $a\varphi\left(\frac{x'}{L}\right)$ - характеризует деформацию рабочей поверхности подшипниковой втулки; $tg\alpha$ - угловой ко-

эффициент линейного контура; ω' и a' - соответственно частота и амплитуда контурных возмущений, описывающих степень отклонения ползуна от прямолинейного. Предполагается, что h_0 значительно меньше длины ползуна.

Зависимость электропроводности, проницаемости пористого покрытия и вязкости жидкого смазочного материала от давления запишем в виде:

$$\mu' = \mu_0 e^{\beta p'}, k' = k_0 e^{\beta p'}, \sigma' = \sigma_0 e^{\beta p'}, \quad (2)$$

где μ' - коэффициент динамической вязкости смазочного материал, σ' - электропроводность смазочного материала, k' - проницаемость пористого слоя, μ_0 - характерная вязкость, k_0 - характерная проницаемость пористого слоя, σ_0 - характеристика электропроводности смазочного материала, p' - давление в смазочном слое, β' - экспериментальная постоянная величина.

В качестве исходных уравнений берется безразмерная система уравнений движения электропроводящего жидкого смазочного материала, неразрывности, Дарси и Ламе для случая «тонкого слоя»

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0, \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{dp}{dx} e^{-\beta p} + Nv - A, \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^{*2}} = 0, \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} = 0, \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} = 0. \quad (3)$$

где $N = \frac{\sigma_0 B h_0^2}{\mu_0 u^*}$ - число Гартмана, $A = \frac{\sigma_0 B E h_0^2}{\mu_0 u^*}$ - величина, обусловленная наличием электрического поля. Уравнения (3) решаются с учетом:

- в смазочном слое:

$$v = 0, u = 0 \text{ при } y = 1 + \eta_1 x + \eta_1 \varphi(x) - \eta_3 \sin \omega x = H_2(x), v = -1, u = 0 \text{ при } y = 0,$$

$$p(0) = p(1) = \frac{P_a}{p^*}. \quad (4)$$

- в пористом слое:

$$p = P \Big|_{y^*=0}, u \Big|_{y=0} = \tilde{M} \frac{\partial P}{\partial y^*} \Big|_{y^*=0}, \frac{\partial P}{\partial y^*} \Big|_{y^* = -\frac{\tilde{H}}{L}} = 0. \quad (5)$$

- в упругом слое:

$$M \frac{\partial u_{y'}}{\partial y} \Big|_{y=H_2(x)} = -\tilde{p} u_y \Big|_{y=H_2(x)} = 0, u_x \Big|_{y=H_2(x)} = 0, \quad (6)$$

В смазочном, пористом и упругом слое размерные величины связаны с соответствующими безразмерными следующими соотношениями:

- в смазочном слое:

$$\sigma' = \sigma_0 \sigma, \mu' = \mu_0 \mu, k' = k_0 k, v_{y'} = \varepsilon u^* u, v_{x'} = u^* v, \varepsilon = \frac{h_0}{L}, y = h_0 y', \\ x = Lx', p = p^* p', p^* = \frac{\mu_0 u^* L}{h_0^2}, \omega' = \omega L, \beta' = \beta p^*. \quad (7)$$

- в пористом слое:

$$x = Lx^*, y = Ly^*, P = p^* P'. \quad (8)$$

- в упругом слое:

$$y' = (h_1 - h_0) y, x' = Lx, u'_{y'} = \tilde{u} u_y, u'_{x'} = \tilde{u} u_x, \quad (9)$$

где \tilde{u} - характерная величина вектора перемещений.

Точное автомодельное решение задачи, связанной с определением поля скоростей и давлений в смазочном слое будем искать в виде:

$$u = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} + U(x, y), v = \frac{\partial \Psi}{\partial y} + V(x, y), \Psi = \tilde{\psi}(\xi), U(x, y) = -\tilde{u}(\xi) h'(x) \\ V(x, y) = \tilde{v}(\xi), \xi = \frac{y}{h(x)}, \quad (10)$$

Подставляя (10) в первые четыре уравнения (3) с учетом граничных условий (4)-(5), получим:

$$\psi' = \frac{\tilde{C}_2}{2} (\xi^2 - \xi), \tilde{v} = \frac{\tilde{C}_1 \xi^2}{2} - \left(\frac{\tilde{C}_1}{2} + 1 \right) \xi + 1, p = \tilde{C}_1 J_2(x) + \tilde{C}_2 J_3(x) + (A + N)x + \frac{P_a}{p^*}, \quad (11)$$

Для определения гидродинамического давления предварительно необходимо найти функцию $\eta_1 \varphi(x)$ интегрируя пятое уравнение системы (3) с учетом граничных условий (6) получим:

$$\eta_1 \varphi(x) \approx \frac{\tilde{p}}{M}. \quad (12)$$

Тогда $H_2(x) = \left(1 + \frac{\tilde{p}}{M} \right) (1 + \eta_4 x - \eta_5 \sin \omega x)$, где

$$\eta_4 = \frac{\eta}{\left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)}, \quad \eta_5 = \frac{\eta_3}{\left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)} \quad (13)$$

Введем обозначение $z = e^{-\beta p}$ и продифференцировав обе части равенства по x , имеем:

$$\frac{dz}{dx} = -\beta \left[\tilde{C}_1 \frac{1 - \eta_4 - \frac{2\eta_5}{\omega} (\cos \omega - 1)}{\left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2} + \tilde{C}_2 \frac{1 - \frac{3}{2}\eta_4 - \frac{3\eta_5}{\omega} (\cos \omega - 1)}{\left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^3} + (A + N) \right], \quad (14)$$

Интегрируя уравнение (14) с точностью до членов второго порядка малости $O(\eta^2)$ и используя граничные условия $z(0) = z(1) = e^{-\beta \frac{p_a}{p^*}}$, получим:

$$z = -\beta \left(\frac{\eta_4}{2} (x^2 - x) + \frac{\eta_5}{\omega} (\cos \omega x - 1 - (\cos \omega x - 1)x) \right) \left(\frac{\tilde{C}_1}{\left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2} + 3(A + N) \right) + e^{-\beta \frac{p_a}{p^*}}. \quad (15)$$

Выполним аналитическое разложение ряд Тейлора с точностью до членов $O(\beta^2), O(\tilde{\eta}^2), O\left(\beta^3 \left(\frac{p_a}{p^*}\right)\right)$ для P получим следующее выражение:

$$P = \frac{p_a}{p^*} + \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*} \right)^2 \right) \left(\frac{\eta_4}{2} (x^2 - x) + \frac{\eta_5}{\omega} (\cos \omega x - 1 - x(\cos \omega - 1)) \right) \times \left(\frac{\tilde{C}_1}{\left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2} + 3(A + N) \right), \quad (16)$$

С учетом (16) давление фильтрующегося смазочного материала в пористом слое будем искать в виде:

$$P(x, y^*) = R(y^*) + \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*} \right)^2 \right) \left[\frac{1}{2} \eta_4 (x^3 - x) + \frac{\eta_5}{\omega} (\cos \omega x - 1 - x(\cos \omega - 1)) \right] \times \left(\frac{\tilde{C}_1}{\left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2} + 3(A + N) \right) + \frac{p_a}{p^*}, \quad (17)$$

Подставляя (17) в уравнение Дарси системы (3) для функции $R(y^*)$ получим выражение:

$$R(y^*) = - \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*} \right)^2 \right) (\eta_4 - \eta_5 \omega \cos \omega x) \left(\frac{\tilde{C}_1}{\left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2} + 3(A + N) \right) \left(\frac{y^{*2}}{2} + \frac{H}{L} y^* \right) + \frac{p_a}{p^*}; \quad (18)$$

Интегрируя уравнение неразрывности по ξ от 0 до 1, для \tilde{C}_1 получим:

$$\tilde{C}_1 = \frac{12 \left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2 \left(3\tilde{M} \frac{\tilde{H}}{L} (A+N) + \frac{1}{2}\right)}{-12\tilde{M} \frac{\tilde{H}}{L} \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*}\right)^2\right) + \left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2}, \quad (19)$$

Итак, уравнение (16) с учетом (19) можно представить в виде:

$$p = \left[\frac{\eta_4}{2} (x^2 - x) + \frac{\eta_5}{\omega} (\cos \omega x - 1 - x(\cos \omega - 1)) \right] \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*}\right)^2\right) \times \\ \times \left(\frac{12(3\tilde{M} \frac{\tilde{H}}{L} (A+N) + \frac{1}{2})}{-12 \frac{H}{L} \tilde{M} - \left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2} + 3(A+N) \right) + \frac{p_a}{p^*}, \quad (20)$$

Перейдем к определению основных рабочих характеристик подшипника. С учетом (20), (11), получим следующие выражения:

$$W = \frac{\mu u^* L}{h_0^2} \int_0^1 \left(P - \frac{p_a}{p^*} \right) dx = \frac{\mu_0 u^* L}{h_0^2} \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*}\right)^2\right) \left(\frac{12(3\tilde{M} \frac{\tilde{H}}{L} (A+N) + \frac{1}{2})}{-12 \frac{H}{L} \tilde{M} - \left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right)^2} + 3(A+N) \right) \times \\ \times \left[-\frac{\eta_4}{12} + \frac{\eta_5}{\omega} \left(\frac{\sin \omega}{\omega} - 1 - \frac{1}{2}(\cos \omega - 1) \right) \right]. \\ L_{TP} = \frac{\mu u^* L}{h_0} \int_0^1 \left(\frac{\psi''(0)}{H_2^2(x)} + \frac{\tilde{v}'(0)}{H_2^3(x)} \right) dx = \frac{\mu_0 u^* L}{h_0} \left[\frac{-1 + \frac{\eta_4}{2} + \frac{\eta_5}{\omega} (\cos \omega - 1)}{1 + \frac{\tilde{p}}{M}} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right) (N+A) \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\tilde{p}}{M}\right) (N+A) \right] \times \\ \times \left(1 + \frac{\eta_4}{2} + \frac{\eta_5}{\omega} (\cos \omega - 1)\right) \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*}\right)^2\right).$$

По результатам численных расчетов построены графики, приведенные на рисунке 2.

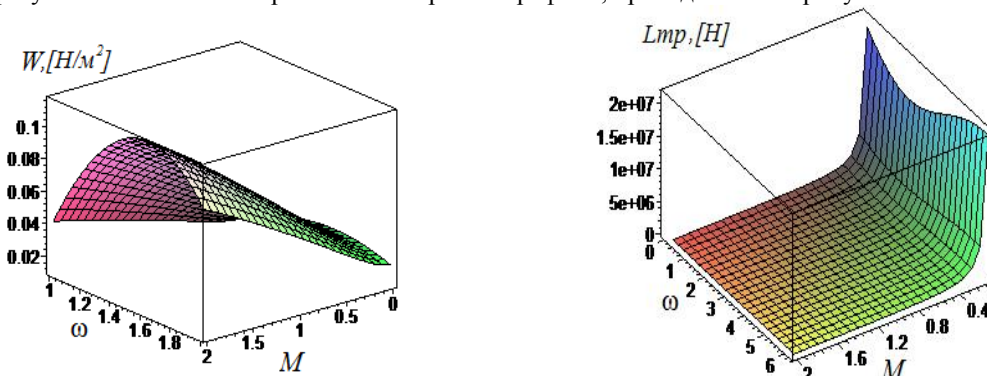


Рисунок 2. График зависимости несущей способности и силы трения от упругогидродинамического параметра M и ω , параметра, характеризующего адаптированный профиль подшипниковой втулки

Литература

1. Гармонина А. Н. Расчетная модель электропроводящей смазки упорного подшипника с демпфирующими свойствами при наличии электромагнитных полей // Вестник РГУПС. – 2015. – № 2. – С. 146–153.

2. Analytical Technique for Predicting the Value of Micropolar Lubrication Criteria Providing Stable Operation of a Radial Slide Bearing / K.S. Akhverdiev, A.Yu. Vovk, M.A. Mukutadze, M.A. Savenkova // Journal of Friction and Wear, 2008, No. 2, P – 140-145.

3. Akhverdiev, K.S. Hydrodynamic Calculation of a Thrust Plain Bearing That Operates with Viscoelastic Lubricant under Turbulent Friction Conditions / K.S. Akhverdiev, M.A. Mukutadze, I.S. Semenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2011, No. 4, P – 359-365.

4. Akhverdiev, K.S. Radial bearing with porous barrel / K.S. Akhverdiev, M.A. Mukutadze, A.M. Mukutadze // Proceedings of Academic World : Inter-

national Conference, 28th of March, 2016, San Francisco, USA. – IRAG Research Forum : Institute of Research and Journals, 2016. – P. 28–31.

5. Mukutadze M.A. Optimization of the Supporting Surface of a Slider Bearing according to the Load-Carrying Capacity Taking into Account the Lubricant Viscosity Depending on Pressure and Temperature / M.A. Mukutadze, D. U. Khasyanova // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2018, No. 4, P – 356-361.

6. Mukutadze, M.A. Radial bearing with porous Elements / M.A. Mukutadze // Procedia Engineering 150, 2016. – P. 559-570.

7. Опацких А.Н., Черняев С.С., Солоп С.А. Расчетная модель упругодеформируемого упорного подшипника с учетом зависимости электропроводности, вязкости смазочного материала и проницаемости пористого слоя от давления // Трибология – машиностроению: Труды XII Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН, С. 375 – 378.

«ПОСТРОЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ»*Субхангулов Руслан Олегович**Студент 2 курса, факультет «Информационные системы и технологии» МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, г. Москва***Аннотация.**

Одновременно с ростом объема хранимых данных с каждым годом растут требования по уровню их доступности и бесперебойной работе приложений. Для обеспечения надежности вычислительной системы при ее работе необходимо обеспечивать отказоустойчивость. Рассматриваются подходы к обеспечению отказоустойчивости в распределенной вычислительной системе. В качестве примера рассмотрено построение отказоустойчивых комплексов: на технологии Microsoft и на основе Red Hat Linux

Abstract.

Simultaneously with the growth of the volume of stored data, the requirements for the level of their availability and uninterrupted operation of applications are growing every year. To ensure the reliability of the computer system during its operation, it is necessary to provide fault tolerance. Approaches to ensuring fault tolerance in a distributed computing system are considered. As an example, we consider the construction of fault-tolerant systems: on Microsoft technology and on the basis of Red Hat Linux

Ключевые слова: *распределенные вычисления, секторное моделирование, целостность данных, комплексы узлов*

Keywords: *distributed computing, sector modeling, data integrity, node complexes*

Сегодня программное обеспечение используется во многих областях современной жизни: в научных исследованиях, производстве, транспорте, медицине и многих других секторах, которые влияют на нашу жизнь и воздействуют на наш быт непосредственно или косвенно. Гибкость программно - информационных систем, постоянно повышающиеся потребности общества и конкуренция в бизнесе способствуют расширению области применения программных средств. Без программного обеспечения многие из наших современных достижений были бы фактически невозможны.

Несмотря на широкое распространение, чрезвычайно трудно создать безупречное программное обеспечение ввиду огромного количества причин. Всегда существует вероятность того, что потенциальные ошибки в логике программы рано или поздно обнаружатся, и последствия этих ошибок непредсказуемы.

Применение программного обеспечения во многих областях науки и техники предъявляет высокие требования к его надежности [1, с. 291]. К критическим областям можно отнести такие, как космическая отрасль, ядерная энергетика, банковская система, экологическое прогнозирование, химическое производство, медицина и многие другие. Отказ программного обеспечения, применяемого в подобных областях, может повлечь за собой существенные финансовые потери и иметь прочие серьезные последствия.

Отказоустойчивость вычислительной системы - это один из основных критериев оценки данных систем. В случае, когда вычислительная система состоит из множества удаленных узлов, появляется необходимость в установлении связи между ними. Технология MPI является одним из стандартов в области разработки подобных вычислительных систем.