

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-4.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/50TVN417.pdf>

Статья опубликована 23.08.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Мукутадзе М.А., Гармони́на А.Н. Расчетная модель радиального подшипника с учетом электропроводности, вязкости смазочного материала и проницаемости пористых покрытий от давления // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/50TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.891 + 06

Мукутадзе Мурман Александрович

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», Россия, Ростов-на-Дону¹
Доцент кафедры «Высшая математика»
Доктор технических наук
E-mail: murman1963@yandex.ru

Гармони́на Анастасия Николаевна

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», Россия, Ростов-на-Дону
Соискатель кафедры «Высшая математика»
E-mail: opatskih@yandex.ru

Расчетная модель радиального подшипника с учетом электропроводности, вязкости смазочного материала и проницаемости пористых покрытий от давления

Аннотация. В работе на основе уравнений электропроводящей вязкой несжимаемой жидкости смазочного материала для «тонкого слоя», неразрывности и Дарси при наличии электромагнитного поля сформирована расчетная модель радиального подшипника скольжения с учетом зависимости проницаемости пористых покрытий, электропроводности и вязкости жидкого смазочного материала от давления.

Авторами получены уточненные расчетные модели бесконечного радиального подшипника для поля скоростей и давления в смазочном и пористом покрытиях вала, а также многопараметрические выражения для основных рабочих характеристик подшипника, учитывающие наличие электромагнитных полей и зависимость от давления вязкости, электропроводности смазочного материала и проницаемости пористого покрытия.

Найдено точное автомодельное решение рассматриваемой задачи для гидродинамического давления в смазочном и пористых слоях в виде разложения в ряд Тейлора.

Полученные уточненные расчетные модели позволили установить влияние ряда дополнительных факторов, а также выполнить сравнительный анализ вновь полученных и уже имеющихся результатов, что подтверждает большую приближенность новой модели к реальной практике.

Представленные в данной статье результаты исследования в обобщенном виде были представлены в диссертационном исследовании Мукутадзе М. А.

¹ 344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2

Ключевые слова: электропроводящий смазочный материал; зависимость вязкости; электропроводности и проницаемости пористых покрытий от давления

Введение

Одним из важнейших элементов для подшипников скольжения является смазочная среда. В современных машинах широко используются пористые покрытия, наносимые газотермическим напылением, обладающие более высокой маслосемкостью и демпфирующей способностью. В последнее время широкое распространение получили смазочные материалы, с электропроводящими свойствами. Анализ существующих работ в данном направлении [1-10], в которых сравнивались характеристики подшипников, работающих на электропроводящих смазочных материалах, с пористым покрытием на поверхности шейки вала, подтвердил эффект возрастания толщины смазочной пленки по сравнению с подшипниками, работающими на обычных смазочных материалах. А также результаты анализа работ, посвященных расчету подшипников скольжения с покрытием из пористых псевдопластов, показывают, что в приведенных расчетах не учитываются многослойность и проницаемость пористых слоев, зависимость электропроводности и вязкости жидкого смазочного материала (ЖСМ) от давления.

Научная новизна разрабатываемой расчетной модели состоит в том, что впервые обобщены многопараметрические выражения для основных рабочих характеристик радиального подшипника с пористыми покрытиями на поверхности шейки вала с учетом зависимости электропроводности, проницаемости пористых покрытий и вязкости жидкого смазочного материала от давления.

Постановка задачи

Рассмотрим установившееся движение в рабочем зазоре электропроводящего жидкого смазочного материала радиального подшипника скольжения с двухслойным пористым покрытием на поверхности шейки вала в условиях действия электромагнитного поля. (рис. 1). Вал радиального подшипника скольжения вращается со скоростью Ω , а втулка неподвижна.

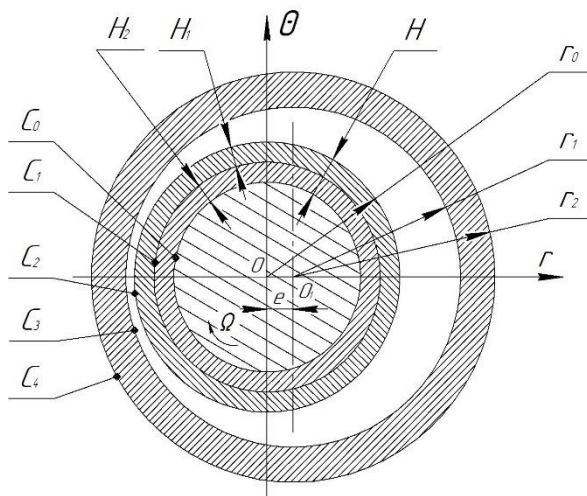


Рисунок 1. Рабочая схема (составлено авторами)

В полярной системе координат с полюсом в центре вала уравнение контуров вала с пористыми покрытиями вала C_0 , C_1 и C_2 подшипниковой втулки C_3 :

$$C_0 : r' = r_0 - \tilde{H} \quad , \quad C_1 : r' = r_0 - \tilde{H}_1 \quad , \quad C_2 : r' = r_0 \quad , \quad C_3 : r' = r_1 + e \cos \theta \quad (1)$$

где: r_0 – радиус вала; \tilde{H} – толщина двухслойного пористого покрытия на поверхности шейки вала; e – эксцентриситет; r_1 – радиус подшипниковой втулки; \tilde{H}_2 – толщина пористого покрытия, прилегающего к поверхности вала; \tilde{H}_1 – толщина пористого слоя, прилегающего к смазочному слою.

Зависимость проницаемости пористых покрытий, электропроводности и вязкости смазочного материала от давления задаем в виде:

$$\mu' = \mu_0 e^{\beta P'}, \quad k'_1 = k_1^* e^{\beta P'}, \quad k'_2 = k_2^* e^{\beta P'}, \quad \sigma' = \sigma_0 e^{\beta P'}, \quad (2)$$

где: μ' – коэффициент динамической вязкости; μ_0 – характерная вязкость; k'_1 и k'_2 – проницаемости пористых слоев; k_1^* и k_2^* – характерные проницаемости пористых слоев; σ' – электропроводность смазочного материала; σ_0 – характеристика электропроводности смазочного материала, P' – давление в смазочном слое.

Исходными уравнениями являются система безразмерных уравнений движения электропроводящей жидкости для «тонкого слоя», неразрывности и Дарси с учетом (2) при наличии электромагнитного поля:

$$\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r'^2} = \frac{1}{r'} \frac{1}{\mu_0 e^{\beta P'}} \frac{\partial p'}{\partial \theta} - \frac{\sigma_0}{\mu_0} B(E - v'_\theta B) \frac{\partial v_{r'}}{\partial r'} + \frac{v'_{r'}}{r'} + \frac{1}{r'} \frac{\partial v'_\theta}{\partial \theta} = 0, \quad \frac{\partial^2 P'}{\partial r'^2} + \frac{1}{r'} \frac{\partial P'}{\partial r'} + \frac{1}{r'^2} \frac{\partial^2 P'}{\partial \theta^2} = 0, \quad (3)$$

где: $v'_{r'}$, v'_θ – компоненты вектора скорости; $\bar{E}' = \{0, 0, E\}$ – вектор напряженности электрического поля; $\bar{B}' = \{0, B, 0\}$ – вектор магнитной индукции; P' – давление в пористом слое. Предполагается, что величина E' , B' и скорости течения электропроводящей жидкости таковы, что можно пренебречь влиянием потока на электрическое и магнитное поля.

При этом значения $E'(r, 0)$ и $B'(r, 0)$ считаются заданными и удовлетворяющими уравнениям Максвелла:

$$\operatorname{div} \bar{B}' = 0, \operatorname{rot} \bar{E}' = 0. \quad (4)$$

Данные уравнения удовлетворяются при $E' = \operatorname{const}$, $B' = \frac{B_0}{r}$, $B_0 = \operatorname{const}$.

Систему (3) решаем с учетом граничных условий:

- смазочном слое:

$$v'_{r'} = 0, \quad v'_\theta = 0 \quad \text{при} \quad r' = r_1 + e \cos \theta; \quad p'(0) = p'(2\pi) = \frac{P_a}{P^*} \quad \text{при} \quad r' = r_0 - \tilde{H}; \quad (5)$$

- пористом слое:

$$\frac{\partial P'_2}{\partial r'} = 0 \quad \text{при} \quad r' = r_0 - \tilde{H}; \quad v'_{r'} = -\frac{k'_1}{\mu'} \frac{\partial P'_1}{\partial r'} \quad \text{при} \quad r' = r_0; \quad v'_\theta = \Omega r_0 \quad \text{при} \quad r' = r_0; \quad (6)$$

$$P'_1 = P' \quad \text{при} \quad r' = r_0; \quad P'_1 = P'_2 \quad \text{при} \quad r' = r_0 - \tilde{H}_1; \quad \frac{\partial P'_1}{\partial r'} = \frac{k'_2}{k'_1} \frac{\partial P'_2}{\partial r'} \quad \text{при} \quad r' = r_0 - \tilde{H}_1.$$

Размерные величины и безразмерные в смазочном и пористых слоях задаются следующими соотношениями:

- в смазочном слое:

$$v'_r = \Omega \delta u, \quad v'_\theta = \Omega r_0 v, \quad r' = r_0 + \delta r, \quad \delta = r_1 - r_0, \quad (7)$$

$$p' = p^* p, \quad P^* = \frac{\mu \Omega r_0^2}{\delta^2}, \quad \sigma' = \sigma_0 \sigma, \quad \mu' = \mu_0 \mu, \quad \beta' = \beta p^* ;$$

- в пористом слое:

$$r' = \tilde{H} r^*, \quad p' = p^* P, \quad k'_1 = k_1^* k_1, \quad k'_2 = k_2^* k_2, \quad P_1 = p^* P_1, \quad P_2 = p^* P_2 \quad (8)$$

С учетом (7) и (8) уравнение (3) примет следующий вид:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = e^{-\beta p} \frac{dp}{d\theta} - A + N v, \quad \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial \theta} = 0, \quad \frac{\partial^2 P}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial P}{\partial r^*} + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} = 0 \quad (9)$$

где: $A = \frac{\sigma B_0 \delta E'}{\mu r_0^2 \Omega}$ – величина, обусловленная наличием электрического поля, $N = \frac{B_0^2 \delta^2 \sigma}{\mu r_0^2}$ – число Гартмана.

Полученную систему уравнений (9) решаем с учетом соответствующих граничных условий:

- в смазочном слое:

$$v = 0, \quad u = 0 \quad \text{при} \quad r = 1 + \eta \cos \theta, \quad v|_{r=0} = -1, \quad (10)$$

- в пористом слое:

$$P_1 = P \quad \text{при} \quad r^* = \frac{r_0}{\tilde{H}}, \quad \left. \frac{\partial P_1}{\partial r^*} \right|_{r^* = \frac{r_0}{\tilde{H}} - \frac{\tilde{H}_1}{\tilde{H}}} = \frac{k_2}{k_1} \left. \frac{\partial P_2}{\partial r^*} \right|_{r^* = \frac{r_0}{\tilde{H}} - \frac{\tilde{H}_1}{\tilde{H}}}, \quad (11)$$

$$\tilde{u}|_{r=0} = \tilde{M}_1 \left. \frac{\partial P_1}{\partial r^*} \right|_{r^* = \frac{r_0}{\tilde{H}}}, \quad \left. \frac{\partial P_2}{\partial r^*} \right|_{r^* = \frac{r_0}{\tilde{H}} - 1} = 0, \quad P_1 = P_2 \Big|_{r^* = \frac{r_0}{\tilde{H}} - \frac{\tilde{H}_1}{\tilde{H}}}, \quad p(0) = p(2\pi) = \frac{p_a}{p^*}$$

где: $\tilde{M}_1 = -\frac{k_1 r_0^2}{\tilde{H}_1 \delta^3}, \quad \tilde{M}_2 = -\frac{k_2 r_0^2}{\tilde{H}_2 \delta^3}, \quad \eta = \frac{e}{\delta};$

в дальнейшем в правой части второго уравнения системы (9) скорость v заменим ее наибольшим значением (то есть принимаем $v = -1$).

Для определения давления и поле скоростей в смазочном слое точное решение будем искать в виде:

$$v = \frac{\partial \psi}{\partial r} + V(r, \theta), \quad u = -\frac{\partial \psi}{\partial \theta} + U(r, \theta), \quad \psi = \tilde{\psi}(\xi), \quad v = \tilde{v}(\xi), \quad V(r, \theta) = -\tilde{u}(\xi) h'(\theta), \quad (12)$$

$$\xi = \frac{r}{h(\theta)}, \quad e^{-\beta p} \frac{dp}{d\theta} - A - N = \frac{\tilde{C}_1}{h^2(\theta)} + \frac{\tilde{C}_2}{h^3(\theta)}, \quad h(\theta) = 1 + \eta \cos \theta.$$

Подставляем (12) в систему уравнений (9) с учетом (10), (11), получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\psi'''(\xi) = \tilde{C}_2, \quad \tilde{v}'' = \tilde{C}_1, \quad \tilde{u}' + \xi \tilde{v}' = 0. \quad (13)$$

И граничные условия:

$$\psi'(0) = 0, \psi'(1) = 0, \tilde{u}(0) = 1, \tilde{u}(1) = 0, \tilde{v}(1) = 0, \tilde{v}(0) = 1. \quad (14)$$

Решая (13), (14), получим:

$$\psi' = \frac{\tilde{C}_2}{2}(\xi^2 - \xi), \quad \tilde{v}(\xi) = \frac{\tilde{C}_1 \xi^2}{2} - \left(\frac{\tilde{C}_1}{2} + 1\right)\xi + 1 \quad (15)$$

Безразмерное давление в смазочном слое определяем из уравнений:

$$e^{-\beta p} \frac{dp}{d\theta} = \frac{\tilde{C}_1}{h^2(\theta)} + \frac{\tilde{C}_2}{h^3(\theta)} + A + N \quad (16)$$

Интегрируя уравнение (16), получим:

$$P = \left[(A + N)\theta + \tilde{C}_1(\theta - 2\eta \sin\theta) + \tilde{C}_2(\theta - 3\eta \sin\theta) \right] \left(-\frac{1}{\beta} e^{-\beta p} \right) \quad (17)$$

Введя обозначения $Z = e^{-\beta p}$ и проинтегрировав обе части равенства по θ , получим:

$$\frac{dZ}{d\theta} = -\beta e^{-\beta p} \frac{dp}{d\theta} \quad (18)$$

Тогда уравнение (17) можно представить в виде:

$$\frac{dZ}{d\theta} = -\beta(\tilde{C}_1(1 - 2\tilde{\eta} \cos\theta) + \tilde{C}_2(1 - 3\tilde{\eta} \cos\theta) + A + N). \quad (19)$$

Решая уравнение (19) с точностью до $O(\eta^2)$, получим:

$$Z = -\beta(\tilde{C}_1(\theta - 2\tilde{\eta} \cos\theta) + \tilde{C}_2(\theta - 3\tilde{\eta} \sin\theta) + (A + N)\theta) + e^{-\beta \frac{P_a}{p}} \quad (20)$$

С учетом граничных условий, получим:

$$\tilde{C}_2 = -\tilde{C}_1 - A - N \quad (21)$$

Тогда уравнение (20) примет следующий вид:

$$Z = -\beta\eta(\tilde{C}_1 + 3(A + N)) \sin\theta + e^{-\beta \frac{P_a}{p}} \quad (22)$$

или

$$e^{-\beta p} - e^{-\beta \frac{P_a}{p}} = -\beta\eta(\tilde{C}_1 + 3(A + N)) \sin\theta \quad (23)$$

Выполняя аналитическое разложение $e^{-\beta p}$ и $e^{-\beta \frac{P_a}{p}}$ в ряд Тейлора с точностью до $O(\beta^2)$ включительно, получим:

$$1 - \beta p + \frac{\beta^2 p^2}{2} - \left(1 - \beta \frac{P_a}{p} + \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{P_a}{p} \right)^2 \right) + \beta\eta[\tilde{C}_1 + 3(A + N)] \sin\theta = 0 \quad (24)$$

Решение (24) с точностью до $O(\eta^2)$, $O\left(\beta^3 \left(\frac{P_a}{p}\right)^2\right)$ для давления, получим:

$$p = \frac{p_a}{p^*} + \left[1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*} \right)^2 \right] \tilde{\eta} [\tilde{C}_1 + 3(A + N)] \sin \theta \quad (25)$$

С учетом (25) давление в пористом слое ищем в виде:

$$P_i(r^*, \theta) = R(r^*) \tilde{\eta} (\tilde{C}_1 + 3(A + N)) \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} + \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*} \right)^2 \right) \sin \theta + \frac{p_a}{p^*} \quad (26)$$

Подставим (26) в уравнение Дарси для функции $R_i(r^*)$, получим дифференциальное уравнение и граничные условия:

$$R_i''(r^*) + \frac{R_i'}{r^*} - \frac{R_i}{r^{*2}} = 0, \quad i=1,2. \quad (27)$$

$$R_1\left(\frac{r_0}{\tilde{H}}\right) = 1, \quad R_1\left(\frac{r_0 - \tilde{H}_1}{\tilde{H}}\right) = R_2\left(\frac{r_0 - \tilde{H}_1}{\tilde{H}}\right), \quad R_2\left(\frac{r_0}{\tilde{H}} - 1\right) = 0, \quad R_1'\left(\frac{r_0 - \tilde{H}_1}{\tilde{H}}\right) = \frac{k_2}{k_1} R_2'\left(\frac{r_0 - \tilde{H}_1}{\tilde{H}}\right) \quad (28)$$

Решая (27), (28), получим:

$$R_1(r^*) = C_1 r^* + \frac{C_2}{r^*}, \quad R_2(r^*) = C_3 r^* + \frac{C_4}{r^*},$$

$$C_1 = \frac{r_0 \tilde{H} (r_0 - \tilde{H}_1)^2 (2r_0^2 - 2r_0(2\tilde{H}_1 + \tilde{H}_2) + \tilde{H}_1^2 + \tilde{H}^2)}{(-2r_0 \tilde{H}_1 + \tilde{H}^2) [(2r_0^2 - 2r_0 \tilde{H}_1 + \tilde{H}_1^2) (2r_0^2 - 2r_0(2\tilde{H}_1 + \tilde{H}_2) + \tilde{H}_1^2 + \tilde{H}^2) - \frac{k_2}{k_1} (2r_0 \tilde{H}_2 - 2\tilde{H}_1 \tilde{H}_2 - \tilde{H}_2^2) (-2r_0 \tilde{H}_1 + \tilde{H}^2)]} \quad (29)$$

$$C_2 = \frac{r_0}{\tilde{H}} - C_1 \frac{r_0^2}{\tilde{H}^2}$$

Для определения \tilde{C}_1 сначала интегрируем уравнение неразрывности:

$$\tilde{M}_1 \frac{\partial P_1}{\partial r^*} \Big|_{r^* = \frac{r_0}{\tilde{H}}} = \int_0^1 \tilde{v}(\xi) d\xi \quad (30)$$

Подставляя (14), (19) в (30) с учетом (29) для \tilde{C}_1 , получим:

$$\tilde{C}_1 = \frac{6 \left[1 - 6\tilde{M}_1 (A + N) \left(2C_1 - \frac{\tilde{H}}{r_0} \right) \right] \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*} \right)^2 \right)}{12\tilde{M}_1 \left(2C_1 - \frac{\tilde{H}}{r_0} \right) \left(1 + \beta \frac{p_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{p_a}{p^*} \right)^2 \right) + 1} \quad (31)$$

На основании (15), (26), (31) для составляющей вектора поддерживающей силы и силы трения получим выражения:

$$R_x = \frac{\mu_0 \Omega r_0^3}{\delta^2} \int_0^{2\pi} \left(p_1 - \frac{p_a}{p^*} \right) \cos \theta d\theta = 0;$$

$$R_y = \frac{\mu_0 \Omega r_0^3}{\delta^2} \int_0^{2\pi} \left(p_1 - \frac{P_\phi}{p^*} \right) \sin \theta d\theta = \frac{\mu_0 \Omega r_0^3 \tilde{\eta} \pi}{\delta^2} (\tilde{C}_1 + 3(A + N)) \left(1 + \beta \frac{P_a}{p^*} - \frac{\beta^2}{2} \left(\frac{P_a}{p^*} \right)^2 \right);$$

$$L_{\text{тр}} = -\frac{\Omega r_0}{\delta} \left[\int_0^{2\pi} \mu \frac{\psi''(\theta)}{h_3^3(\theta)} d\theta - \int_0^{2\pi} \mu \frac{\tilde{v}'(0)}{h_3(\theta)} d\theta \right] = \frac{\mu_0 \Omega r_0 \pi}{\delta} \left(1 - \beta p + \frac{\beta^2}{2} p^2 \right) (A + N - 2). \quad (32)$$

Для численного анализа использованы следующие значения:

$$P_a = 0,08 \div 0,101325 \text{ МПа}; \quad r_0 = 0,019985 \div 0,04933 \text{ м}; \quad \frac{\tilde{H}_2}{\tilde{H}_1} = 0,5 \div 2; \quad \frac{k_2}{k_1} = 0,1 \div 0,9;$$

$$\mu = 0,0608 \frac{\text{НС}}{\text{м}^2}; \quad \Omega = 100 \div 1800 \text{ с}^{-1}; \quad \delta = 0,05 \cdot 10^{-3} \div 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad \eta = 0,3 \div 1; \quad \tilde{M}_1 = 0,1 \div 3;$$

$$\tilde{\eta} = 0,01 \div 0,9; \quad M = 0 \div 30; \quad H = 0,0055 \text{ м}; \quad A = 1 \div 3; \quad N = 0,1 \div 0,9.$$

Результаты численных расчетов приведены на рисунках 2-6.

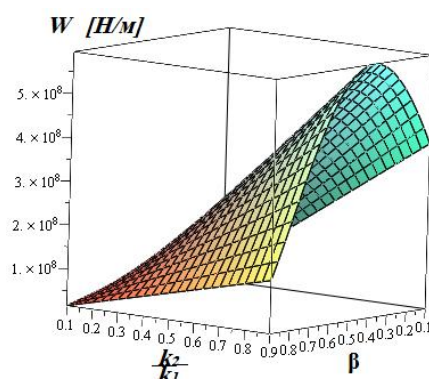


Рисунок 2. Зависимость несущей способности от проницаемости пористых слоев и параметра (β) , характеризующего зависимость вязкости от давления $\left(\frac{k_2}{k_1} \right)$

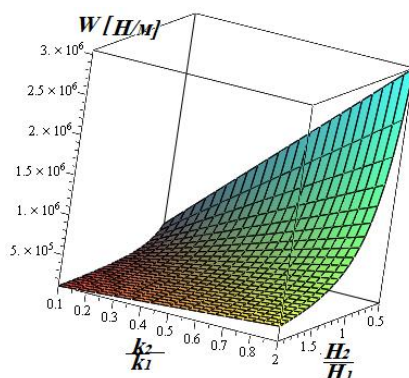


Рисунок 3. Зависимость несущей способности от проницаемости пористых слоев и толщин пористых слоев $\left(\frac{H_2}{H_1} \right)$

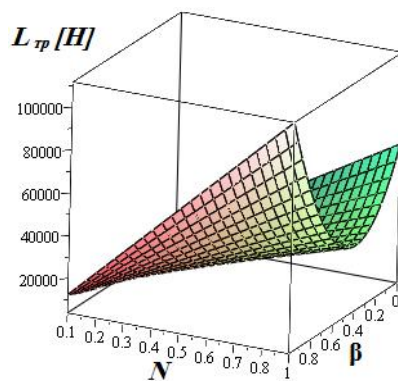


Рисунок 4. Зависимость силы трения $L_{тр}$ от числа Гартмана (N) и от параметра β , характеризующего зависимость вязкости от давления

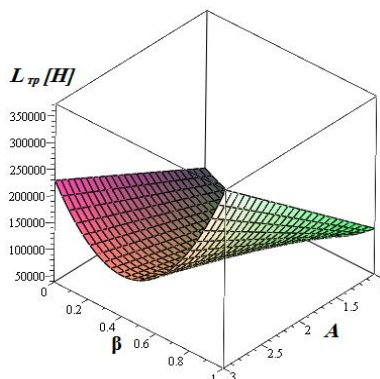


Рисунок 5. Зависимость силы трения $L_{тр}$ от параметра (A), обусловленного наличием электрического поля, и от параметра (β), характеризующего зависимость вязкости от давления

Выводы

1. В результате полученных теоретических моделей для бесконечного радиального подшипника скольжения, работающего на электропроводящем жидком смазочном материале с двухслойным пористым покрытием на поверхности шейки вала с учетом зависимости вязкости, электропроводности жидкого смазочного материала и проницаемости пористых слоев от давления.
2. Показан значительный вклад параметров: (A), обусловленного наличием электрического поля, число Гартмана (N) и отношение толщин пористых покрытий на поверхности шейки вала на величину триботехнических параметров рассматриваемого подшипника.
3. Установлено, что значительное повышение несущей способности и уменьшение силы трения происходит с увеличением отношения проницаемости пористых слоев $\left(\frac{k_2}{k_1}\right)$, а также параметра (A), обусловленного наличием электромагнитного поля и числа Гартмана (N).
4. Численный анализ полученных моделей подшипников с двухслойным пористым покрытием шейки вала позволяют установить, что теоретически разработанные модели подшипников скольжения значительно повышают демпфирующие

характеристики, несущую способность с ростом проницаемости пористых слоев и увеличением вязкости смазочного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демпфер с пористым элементом для подшипниковых опор / К. С. Ахвердиев, А. М. Мукутадзе, Н. С. Задорожная, Б. М. Флек // Трение и износ. – 2016. – Т. – 37. № 4. – С. 502-509.
2. Akhverdiev, K. S. Radial bearing with porous barrel / K. S. Akhverdiev, M. A. Mukutadze, A. M. Mukutadze // Proceedings of Academic World: International Conference, 28th of March, 2016, San Francisco, USA. – IRAG Research Forum: Institute of Research and Journals, 2016. – P. 28-31.
3. Расчетная модель составного цилиндрического подшипника, работающего в устойчивом режиме, при неполном заполнении смазочным материалом зазора / К. С. Ахвердиев, А. М. Мукутадзе, Н. С. Задорожная, Б. М. Флек // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2016. – № 3. – С. 64-69.
4. Mukutadze, A. M. Coefficient of a rolling motion bearing drive / A. M. Mukutadze // Procedia Engineering. – 2016. – No. 150. – P. 547-558.
5. Akhverdiev, K. S. Damper with porous anisotropic ring / K. S. Akhverdiev, A. M. Mukutadze // Mechanical Engineering Research. – 2016. – Vol. 6. – No. 2. – P. 1-10.
6. Akhverdiev, K. S. Research of Drive Factor of Damper with Doble-Layer Porous Ringwith Compound Feed of Lubricant Material / K. S. Akhverdiev, A. M. Mukutadze // International Journal of Engineering Research. – 2017. – No. 1 – P. 76-85.
7. Mukutadze, M. A. Radial bearings with Porous Elements / M. A. Mukutadze // Procedia Engineering. – 2016. – No. 150. – P. 559-570.
8. Расчетная модель радиального подшипника скольжения с податливой опорной поверхностью с учетом зависимости электропроводности, вязкости смазочного материала и проницаемости пористого покрытия от давления / К. С. Ахвердиев, М. А. Мукутадзе, И. А. Колобов, А. Н. Гармоница // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9. – № 2. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/99TVN217.pdf>.
9. Ахвердиев, К. С. Гидродинамический расчёт радиального подшипника при наличии электромагнитного поля с учетом зависимости вязкости и электропроводности от температуры / К. С. Ахвердиев, Е. О. Лагунова, М. А. Мукутадзе // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т. 9. – № 3(42). – С. 529-536.
10. Ахвердиев, К. С. Гидродинамический расчет радиального подшипника при наличии электромагнитного поля с учетом нелинейных факторов / К. С. Ахвердиев, Е. О. Лагунова // Вестник РГУПС. – 2008. – № 4. – С. 138-144.
11. Разработка расчетной модели радиального подшипника с учетом зависимости проницаемости, электропроводности и вязкости жидкого смазочного материала от давления / К. С. Ахвердиев, М. А. Мукутадзе, И. А. Колобов, А. Н. Гармоница // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8, № 6. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN616.pdf>.

Mukutadze Murman Aleksandrovich

Rostov state transport university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: murman1963@yandex.ru

Garmonina Anastasia Nikolaevna

Rostov state transport university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: opatskih@yandex.ru

The design model of a radial bearing, taking into account the electrical conductivity, the viscosity of the lubricant and the permeability of porous coatings to pressure

Abstract. In work on the basis of the equations of an electrically conductive viscous incompressible fluid of a lubricant for a "thin layer", continuity and Darcy in the presence of an electromagnetic field, the design model of a radial sliding bearing is formed, taking into account the dependence of permeability of porous coatings, electrical conductivity and viscosity of a liquid lubricant on pressure.

The authors obtained refined computational models of an infinite radial bearing for the velocity and pressure field in the lubricating and porous coatings of the shaft, as well as multiparameter expressions for the main bearing performance taking into account the presence of electromagnetic fields and dependence on the viscosity pressure, the electrical conductivity of the lubricant and the permeability of the porous coating.

A precise self-similar solution of the problem under consideration for hydrodynamic pressure in the lubricating and porous layers is found in the form of a Taylor series expansion.

The refined calculation models obtained allowed to determine the influence of a number of additional factors, as well as perform a comparative analysis of the newly obtained results and those already available, which confirms the close approximation of the new model to real practice.

Keywords: electrically conductive lubricant; viscosity; conductivity and permeability of porous coatings as a function of pressure

REFERENCES

1. Damper with porous element for bearing supports / K. S. Akhverdiev, A. M. Mukutadze, N. S. Zadorozhnaya, B. M. Fleck // Friction and wear. – 2016. – Т.37. – № 4. – P. 502-509.
2. Akhverdiev, K. S. Radial bearing with porous barrel / K. S. Akhverdiev, M. A. Mukutadze, A. M. Mukutadze // Proceedings of Academic World: International Conference, 28-th of March, 2016, San Francisco, USA. – IRAG Research Forum: Institute of Research and Journals, 2016. – P. 28-31.
3. Calculation model of a compound cylindrical bearing operating in a stable mode, with incomplete filling of the gap with lubricant / K. S. Akhverdiev, A. M. Mukutadze, N. S. Zadorozhnaya, B. M. Flek // Problems of mechanical engineering and reliability of machines. – 2016. – № 3. – P. 64-69.
4. Mukutadze, A. M. Coefficient of a rolling motion bearing drive / A. M. Mukutadze // Procedia Engineering. – 2016. – № 150. – P. 547-558.
5. Akhverdiev, K. S. Damper with porous anisotropic ring / K. S. Akhverdiev, A. M. Mukutadze // Mechanical Engineering Research. 2016. Vol. 6, № 2. – P. 1-10.
6. Akhverdiev, K. S. Research of Drive Factor of Damper with Doble-Layer Porous Ringwith Compound Feed of Lubricant Material // K. S. Akhverdiev, A. M. Mukutadze // International Journal of Engineering Research. – 2017. – № 1 – P. 76-85.
7. Mukutadze, M. A. Radial bearings with Porous Elements / M. A. Mukutadze // Procedia Engineering. – 2016. – № 150. – P. 559-570.
8. Calculation model of a radial sliding bearing with a compliant bearing surface, taking into account the dependence of the electrical conductivity, the viscosity of the lubricant and the permeability of the porous coating to pressure. Akhverdiev, M. A. Mukutadze, I. A. Kolobov, A. N. Garmonina // Internet-journal "Naukovedenie". – 2017. – Т. 9, № 2. – Access mode: <http://naukovedenie.ru/PDF/99TVN217.pdf>.
9. Akhverdiev, K. S. Hydrodynamic calculation of a radial bearing in the presence of an electromagnetic field, taking into account the dependence of viscosity and electrical conductivity on temperature. Akhverdiev, E. O. Lagunova, M. A. Mukutadze // Vestnik DGTU. – 2009. – Т. 9, № 3 (42). – P. 529-536.
10. Akhverdiev, K. S. Hydrodynamic calculation of a radial bearing in the presence of an electromagnetic field with allowance for nonlinear factors / K. C. Akhverdiev, E. O. Lagunov // Vestnik RGUPS. –2008. – №. 4. – P. 138-144.
11. Development of the design model of a radial bearing, taking into account the dependence of permeability, electrical conductivity and viscosity of a liquid lubricant on pressure. Akhverdiev, M. A. Mukutadze, I. A. Kolobov, A. N. Garmonina // Internet-journal "Naukovedenie". – 2016. – Т. 8, № 6. – Access mode: <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN616.pdf>.