УДК 51 : 621 : 891

К.С. АХВЕРДИЕВ, А.М. МУКУТАДЗЕ, Н.С. ЗАДОРОЖНАЯ,
Е.В. ПОЛЯКОВ (Ростовский ГУПС)

Влияние ортогональной анизотропии в проницаемом опорном слое подшипника скольжения конечной длины на устойчивый режим его работы

Целью настоящей работы является исследование влияния анизотропии проницаемости пористого слоя подшипника скольжения на устойчивый режим его работы при двух направлениях подачи смазки – осевом и радиальном.

The purpose of the present activity is the research of influencing of an anisotropy of a permeability of an porous layer of a sliding bearing on a stable conditions of its activity at two directions of submission of lubrication - axial and radial.

Ключевые слова: пористый подшипник, режим трения, проницаемость пористого слоя, вязкоупругая смазка.

Задача об устойчивости работы однослойных и двухслойных пористых подшипников конечной длины рассматривались в работах [1-6]. Существенным недостатком указанных работ является то, что в них проницаемость пористых слоев считается постоянной и, кроме того, не учитывается источник подачи смазки (рис. 1). В рассматриваемом случае трудно обеспечить жидкостный режим трения, так как подшипник работает за счет запаса смазки лишь в порах пористого слоя.

Разработке расчетной модели гидродинамической смазки неоднородного пористого подшипника конечной длины при наличии принудительной подачи смазки посвящена работа [8]. Здесь с учетом анизотропии проницаемости в радиальном направлении и наличия принудительной подачи смазки приводится расчетная модель неоднородного пористого подшипника конечной длины, работающего в устойчивом нестационарном режиме трения. В начале рассматривается случай, когда смазка принудительно подается в направлении оси *Oy*, а затем в осевом направлении.

Обобщение задачи, рассмотренной в работе [8], для случая, когда проницаемость меняется как в радиальном, так и в осевом направлениях, позволит не только обеспечить подшипнику повышенную несущую способность, но и уплотнительное свойство. Решение этой задачи является основной целью данной работы.

Постановка задачи. Рассматривается неустановившееся течение вязкой несжимаемой жидкости в зазоре пористого радиального подшипника конечной длины. Подшипник с неоднородным пористым слоем считается неподвижным, а движение вала считается заданным. Проницаемость пористого слоя задается следующей зависимостью

$$k' = A_0 e^{k_1\left(\frac{z}{L}\right)\cdot\frac{y}{H}} . \qquad (1)$$

Здесь A_0 - заданная постоянная величина, $k_1\left(\frac{z}{L}\right)$- известная безразмерная функция, L – длина подшипника, H - толщина пористого слоя.

В дальнейшем будем считать, что на поверхности $y=-H$ проницаемость пористого слоя в направлении оси z меняется по нормальному закону, а давление подачи смазки подчиняется параболической зависимости.

Гидродинамический расчет рассматриваемого подшипника нами будет производиться при следующих допущениях [1,2].

1. Толщина пористого слоя считается малой по сравнению с радиусом подшипника и в конечной модели используется короткий подшипник. Уравнение, определяющее течение смазки, в пористой матрице представляется в виде

$$\frac{\partial^2 p^*}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p^*}{\partial z^2} + k_1\left(\frac{z}{L}\right)\frac{1}{H}\frac{\partial p^*}{\partial y} + \frac{y}{H}\frac{\partial p^*}{\partial z}\frac{\partial k_1}{\partial z} = 0, \qquad (2)$$

где y, z - прямоугольные координаты (рис.1), p^* - гидродинамическое давление в пористом слое.

2. Для определения распределения давления в пленке смазки между шипом и подшипником будем исходить из модифицированного уравнения Рейнольдса в рамках модели короткого подшипника [1].

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(h^3\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \varepsilon\mu\left(\left(\omega_b + \omega_j - 2\omega_L - 2\frac{d\varphi}{dt}\right)\frac{dh}{d\theta} + 2\frac{de}{dt}\cos\theta\right) - 12\mu v_0\big|_{y=0}, \qquad (3)$$

где $h = C(1+\varepsilon\cos\theta)$ - толщина пленки смазки, C – радиальный зазор, ε - относительный эксцентриситет, θ - угловая координата, p – давление в пленке смазки, μ - динамический коэффициент вязкости, $\omega_b, \omega_j, \omega_L$ - угловые скорости соответственно подшипника, шипа и нагрузки, φ - угол положения, t – время, v_0 - компонента скорости в направлении Oy на внутренней границе пористого слоя, прилегающая к зазору:

$$v_0 = -\frac{k'}{\mu}\left(\frac{\partial p^*}{\partial y}\right)\Bigg|_{y=0}, \qquad (4)$$

где k' – проницаемость материала пористого слоя.

Система уравнений (2)-(3) в случае подачи смазки через поры пористого слоя в направлении оси Oy решается при граничных условиях (рис. 1)

$$p^* = p \text{ при } y = 0; \quad p^* = p_g \text{ при } y = -H;$$

$$p^* = p = p_a \text{ при } z = -\frac{L}{2}; \quad p^* = p = p_a \text{ при } z = \frac{L}{2} \tag{5}$$

где p_g - давление подачи смазки, p_a - атмосферное давление.

В случае подачи смазки в осевом направлении граничные условия запишутся в следующем виде (рис. 2, начало координат в этом случае выбрано в левом конце подшипника)

$$p^* = p \text{ при } y = 0; \ \frac{\partial p^*}{\partial y} = 0 \text{ при } y = -H;$$

$$p^* = p = p_H \text{ при } z = 0; \ p^* = p = p_K \text{ при } z = L. \tag{6}$$

Здесь p_H - давление в начальном сечении; p_K - в конечном сечении.

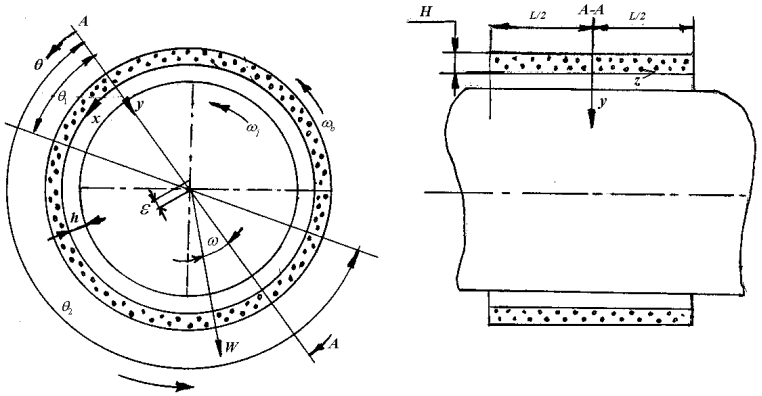

Рис. 1. Радиальный подшипник конечной длины с пористой обоймой

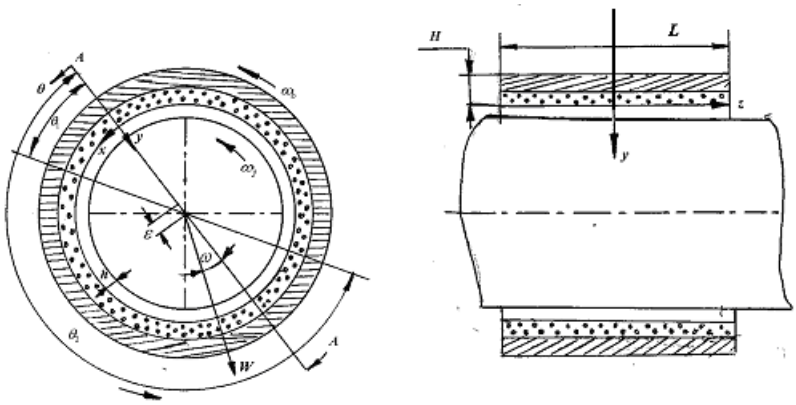

Рис. 2. Радиальный подшипник конечной длины с пористой обоймой
(осевая подача смазки)

Перейдем к безразмерным параметрам по формулам

$$P^* = \frac{p^* C^2}{\mu R_0^2 \omega_j}, \ P = \frac{pC^2}{\mu R_0^2 \omega_j}, \ Z = \frac{2z}{L}, \ Y = \frac{y}{H}, \ T = \omega_j t,$$

$$k' = A_0 k\,,\ \ k = e^{\frac{\beta Z^2}{4}Y}\,,\ \ \Phi = \frac{A_0 H}{C^3}\,,\ \ \tilde{p}_g = \frac{p_g C^2}{\mu R_0^2 \omega_j}\,,\ \ \tilde{p}_a = \frac{p_a C^2}{\mu R_0^2 \omega_j}\ . \tag{7}$$

Установим закон подачи смазки на поверхности $Y = -1$, а также проницаемость пористого слоя на этой поверхности в виде

$$\tilde{P}_g = \tilde{P}_a + \tilde{\tilde{P}}_g (Z^2 - 1),\ \tilde{\tilde{P}}_g = const,\quad k = e^{-\beta \frac{Z^2}{4}}\ . \tag{8}$$

Тогда уравнения (2)-(3) принимают вид (в дальнейшем предполагается, что ω_L, ω_b равны нулю)

$$\frac{\partial^2 P^*}{\partial Y^2} + 4\left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 P^*}{\partial Z^2} + \beta \frac{Z^2}{4}\frac{\partial P^*}{\partial Y} + \left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\beta Z}{2} Y \frac{\partial P^*}{\partial Z} = 0\ , \tag{9}$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial Z^2} = \frac{12\left(L/D\right)^2}{\left(1+\varepsilon\cos\theta\right)^3}\left[\varepsilon\left(\dot{\varphi} - \frac{1}{2}\right)\sin\theta + \dot{\varepsilon}\cos\theta\right] + \frac{3\Phi}{\left(1+\varepsilon\cos\theta\right)^3\left(H/L\right)^2}\left(\frac{\partial P^*}{\partial Y}\right)\Bigg|_{Y=0}\ , \tag{10}$$

где $D = 2R_0$; точкой обозначено дифференцирование по T.

Граничные условия (5) и (6), соответственно, примут следующий вид

$$P^* = P \text{ при } Y = 0;\ \ P^* = \tilde{P}_g \text{ при } Y = -1;$$

$$P^* = P = \tilde{P}_a \text{ при } Z = -1;\qquad P^* = P = \tilde{P}_a \text{ при } Z = 1\ ; \tag{11}$$

$$P^* = P \text{ при } Y = 0;\ \ \frac{\partial P^*}{\partial Y} = 0 \text{ при } Y = -1;$$

$$P^* = P = \tilde{P}_H \text{ при } Z = 0;\qquad P^* = P = \tilde{P}_K \text{ при } Z = 1, \tag{12}$$

где $$\tilde{P}_a = \frac{p_a C^2}{\mu R_0{}^2 \omega_j},\quad \tilde{P}_H = \frac{p_H C^2}{\mu R_0{}^2 \omega_j},\quad \tilde{P}_K = \frac{p_K C^2}{\mu R_0{}^2 \omega_j}.$$

Ниже мы покажем, что при выполнении зависимостей (8) пористая втулка обладает уплотнительным свойством, а подшипник повышенной несущей способностью.

Полагая толщину пористого слоя малой, уравнение (9) усредним по толщине смазочного слоя. Тогда уравнение (9) запишется в виде

$$\int_0^1 \left(\frac{\partial^2 P^*}{\partial Y^2} + 4\left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 P^*}{\partial Z^2} + \beta \frac{Z^2}{4}\frac{\partial P^*}{\partial Y} + \frac{1}{2}\left(\frac{H}{L}\right)^2 \beta Z Y \frac{\partial P^*}{\partial Z}\right) dY = 0. \tag{13}$$

Решение уравнения (13), удовлетворяющее граничным условиям (11), будем искать в виде

$$P^* = A_1 Y^3 + A_2 Y^2 + A_3 Y + \tilde{P}_a + P_1(Z,0)\,. \tag{14}$$

Подставляя (14) в (13), с учетом граничных условий (11), приходим к следующей системе уравнений

$$-A_1 + A_2 - A_3 + P_1 + \tilde{P}_a = \tilde{P}_g;$$

$$A_1 + 2P_1 - 2A_3 - 2\tilde{\tilde{P}}_g(Z^3 - 1) + \beta\frac{Z^2}{4}\left(-A_1 + A_2 - A_3\right) + \left(\frac{H}{L}\right)^2 \beta\frac{Z}{2}\left(-\frac{1}{5}\frac{\partial A_1}{\partial Z} + \frac{1}{4}\frac{\partial A_2}{\partial Z} - \right.$$

$$\left. -\frac{1}{3}\frac{\partial A_3}{\partial Z} + \frac{1}{2}\frac{\partial P_1}{\partial Z}\right) + 4\left(\frac{H}{L}\right)^2\left(\frac{1}{4}\frac{\partial^2 A_1}{\partial Z^2} - \frac{1}{3}\frac{\partial^2 A_2}{\partial Z_2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 A_3}{\partial Z^2} - \frac{\partial^2 P_1}{\partial Z^2}\right) = 0. \qquad (15)$$

Полагая

$$\frac{2}{3}\left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 A_3}{\partial Z^2} - \frac{\beta\tilde{\tilde{P}}_g}{4}\left(Z^4 - Z^2\right) - 2\tilde{\tilde{P}}_g(Z^2 - 1) = 0, \qquad (16)$$

для определения функций A_1 придем к следующему уравнению

$$A_1 - 2A_3 + 2P_1 - \beta\frac{Z^2}{4}P_1 + \frac{\beta Z}{2}\left(\frac{H}{L}\right)^2\left(\frac{1}{20}\frac{\partial A_1}{\partial Z} + \frac{1}{4}\frac{\partial P_1}{\partial Z} - \frac{1}{12}\frac{\partial A_3}{\partial Z} + \frac{\tilde{\tilde{P}}_g Z}{2}\right) +$$

$$+ 4\left(\frac{H}{L}\right)^2\left(-\frac{1}{12}\frac{\partial^2 A_1}{\partial Z^2} - \frac{2}{3}\frac{\partial^2 P_1}{\partial Z^2} - \frac{2}{3}\tilde{\tilde{P}}_g\right) = 0. \qquad (17)$$

Интегрируя уравнение (16) с граничными условиями $A_3 = 0$ при $Z = \pm 1$, будем иметь

$$A_3 = \frac{3}{2}\left(\frac{H}{L}\right)^2\left[\frac{\beta}{24}\tilde{\tilde{P}}_g\left(\frac{Z^6}{5} - \frac{Z^4}{2}\right) + \tilde{\tilde{P}}_g\left(\frac{Z^4}{6} - Z^2\right) + \tilde{\tilde{P}}_g\left(\frac{\beta}{80} + \frac{5}{6}\right)\right]. \qquad (18)$$

Уравнение (17) решается после определения функции P_1. Явный вид функций A_1 и A_2 при определении несущей способности подшипника нам не понадобится.

С учетом (18) решение уравнения (10) запишется в виде

$$P_1 = \frac{\left(L/D\right)^2}{\left(1 + \varepsilon\cos\theta\right)^3}\left[\varepsilon\left(\dot{\varphi} - \frac{1}{2}\right)\sin\theta + \dot{\varepsilon}\cos\theta\right]\left(Z^2 - 1\right) +$$

$$+ \frac{9\Phi}{2\left(1 + \cos\theta\right)^3}\left(\frac{L}{H}\right)^4\left[\frac{\beta}{480}\tilde{\tilde{P}}_g\left(\frac{Z^8}{14} - \frac{Z^6}{3} + \frac{11}{42}\right) + \right. \qquad (19)$$

$$\left. + \frac{1}{12}\tilde{\tilde{P}}_g\left(\frac{Z^6}{15} - Z^4 + \frac{14}{15}\right) + \frac{1}{4}\tilde{\tilde{P}}_g\left(\frac{\beta}{40} + \frac{5}{3}\right)\left(Z^2 - 1\right)\right].$$

Перейдем к случаю осевой подачи смазки (рис. 2). В рассматриваемом случае уравнения (9) и (10) останутся без изменения

$$\frac{\partial^2 P^*}{\partial Y^2} + 4\left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 P^*}{\partial Z^2} + \frac{\beta}{4} Z^2 \frac{\partial P^*}{\partial Y} + \frac{\beta}{2} ZY \left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\partial P^*}{\partial Z} = 0, \tag{20}$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial Z^2} = \frac{12\left(L/D\right)^2}{\left(1+\varepsilon\cos\theta\right)^3}\left[\varepsilon\left(\dot{\varphi} - \frac{1}{2}\right)\sin\theta + \dot{\varepsilon}\cos\theta\right] + \frac{3\Phi}{\left(1+\varepsilon\cos\theta\right)^3\left(H/L\right)^2}\left(\frac{\partial P^*}{\partial Y}\right)\Bigg|_{Y=0}. \tag{21}$$

Уравнение (20) усредним по зазору.

$$\int_0^{-1}\left[\frac{\partial^2 P^*}{\partial Y^2} + \left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 P^*}{\partial Z^2} + \beta Z^2 \frac{\partial P^*}{\partial Y} + 2\beta ZY\left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\partial P^*}{\partial Z}\right] dY = 0. \tag{22}$$

Решение уравнений (20) и (21) с учетом граничных условий (12) будем искать в виде

$$P = aZ + b + P_1(Z,\theta), \quad P^* = A_1 Y^3 + A_2 Y^2 + A_3 Y + aZ + b + P_1. \tag{23}$$

Подставляя (23) в (20), с учетом граничных условий (12) будем иметь

$$3A_1 - 2A_2 + A_3 = 0, \tag{24}$$

$$2A_1 - A_2 - A_3 + \beta Z^2\left(-A_1 + A_2 - A_3\right) + 2\left(\frac{H}{L}\right)^2 \beta Z\left(-\frac{1}{5}\frac{\partial A_1}{\partial Z} + \frac{1}{4}\frac{\partial A_2}{\partial Z} - \frac{1}{3}\frac{\partial A_3}{\partial Z} + \right.$$

$$\left. + \frac{a}{2} + \frac{1}{2}\frac{\partial P_1}{\partial Z}\right) + \left(\frac{H}{L}\right)^2\left(\frac{1}{4}\frac{\partial^2 A_1}{\partial Z^2} - \frac{1}{3}\frac{\partial^2 A_2}{\partial Z^2} - \frac{\partial^2 P_1}{\partial Z^2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 A_3}{\partial Z^2}\right) = 0. \tag{25}$$

Полагая

$$\left(\frac{H}{L}\right)^2 \beta Z a + \frac{4}{3}\left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 A_3}{\partial Z^2} = 0, \tag{26}$$

для определения $A_1(Z,\theta)$ приходим к следующему уравнению

$$\frac{1}{2}A_1 - \frac{3}{2}A_3 + \beta Z^2\left(\frac{1}{2}A_1 - \frac{1}{2}A_3\right) + 2\left(\frac{H}{L}\right)^2 \beta Z\left(\frac{7}{40}\frac{\partial A_1}{\partial Z} - \frac{5}{24}\frac{\partial A_3}{\partial Z} + \frac{1}{2}\frac{\partial P_1}{\partial Z}\right) +$$

$$+ \left(\frac{H}{L}\right)^2\left(-\frac{1}{4}\frac{\partial^2 A_1}{\partial Z^2} - \frac{\partial^2 P_1}{\partial Z^2}\right) = 0. \tag{27}$$

Решая уравнение (26) с граничными условиями (12), будем иметь

$$A_3 = \frac{1}{2} a\beta\left(Z^3 - Z\right). \tag{28}$$

Уравнение (27) решается после определения функции P_1. Явный вид функций A_1 и A_2 в рассматриваемом случае при определении несущей способности подшипника нам не понадобится. С учетом (28) решение уравнения (21) запишется в виде

$$P_1 = \frac{24\left(L/D\right)^2}{\left(1+\varepsilon\cos\theta\right)^3}\left[\varepsilon\left(\dot{\varphi}-\frac{1}{2}\right)\sin\theta+\dot{\varepsilon}\cos\theta\right]\left(Z^2-Z\right)+$$

$$+\frac{6\Phi a\beta}{\left(1+\varepsilon\cos\theta\right)^3\left(H/L\right)^2}\left(\frac{Z^5}{20}-\frac{Z^3}{6}+\frac{1}{6}Z-\frac{Z}{20}\right), \qquad (29)$$

где $a = \dfrac{\tilde{P}_K - \tilde{P}_H}{2}$, $b = \dfrac{\tilde{P}_K + \tilde{P}_H}{2}$.

Перейдем к определению усилий масляной пленки.

При неполном заполнении смазкой зазора область положительных давлений, ограниченная углами θ_1 и θ_2, определяется из условий

$$\dot{\varepsilon}\cos\theta_1 + \varepsilon\dot{\varphi}\sin\theta_1 = 0,$$

$$\dot{\varepsilon}\sin\theta_2 - \varepsilon\dot{\varphi}\cos\theta_2 = 0, \quad \theta_2 = \theta_1 + \pi .$$

В рассматриваемом случае усилия масляной пленки вычисляются интегрированием по положительной области распределения давления.

В случае подачи смазки в направлении перпендикулярно оси подшипника

$$F^{(e)} = -\frac{\mu R^3\omega_j L}{2C^2}\int_{-1}^{1}\int_{\theta_1}^{\theta_1+\pi} P\cos\theta d\theta dZ ,$$

$$F^{(\varphi)} = -\frac{\mu R^3\omega_j L}{2C^2}\int_{-1}^{1}\int_{\theta_1}^{\theta_1+\pi} P\sin\theta d\theta dZ . \qquad (30)$$

Здесь выражение для P определяется формулой (19).

В случае подачи смазки в осевом направлении

$$F^{(e)} = -\frac{\mu R^3\omega_j L}{C^2}\int_{-1}^{1}\int_{\theta_1}^{\theta_1+\pi} P\cos\theta d\theta dZ ,$$

$$F^{(\varphi)} = -\frac{\mu R^3\omega_j L}{C^2}\int_{-1}^{1}\int_{\theta_1}^{\theta_1+\pi} P\sin\theta d\theta dZ , \qquad (31)$$

где P определяется формулой (29).

При полном заполнении смазкой зазора в случае подачи смазки перпендикулярно оси Oy

$$F^{(e)} = -\frac{\mu R^3 \omega_j L}{2C^2} \int_{-1}^{1} \int_{0}^{2\pi} P \cos\theta d\theta dZ ,$$

$$F^{(\varphi)} = -\frac{\mu R^3 \omega_j L}{2C^2} \int_{-1}^{1} \int_{0}^{2\pi} P \sin\theta d\theta dZ . \qquad (32)$$

Здесь P определяется формулой (19).

В случае осевой подачи смазки

$$F^{(e)} = -\frac{\mu R^3 \omega_j L}{C^2} \int_{-1}^{1} \int_{0}^{2\pi} P \cos\theta d\theta dZ ,$$

$$F^{(\varphi)} = -\frac{\mu R^3 \omega_j L}{C^2} \int_{-1}^{1} \int_{0}^{2\pi} P \sin\theta d\theta dZ , \qquad (33)$$

где P определяется формулой (29).

Решение задачи на устойчивость шипа в подшипнике.

Безразмерные уравнения, определяющие движение шипа, записываются в следующем виде

$$\frac{d^2\varepsilon}{dT^2} = -\frac{F^e}{\omega_j MC} + \left(\frac{\omega_g}{\omega_j}\right)^2 \cos\varphi + \varepsilon\left(\frac{d\varphi}{dT}\right)^2 ,$$

$$\frac{d^2\varphi}{dT^2} = \frac{F^\varphi}{\omega_j MC} - \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{\omega_g}{\omega_j}\right)^2 \sin\varphi - \frac{2}{\varepsilon}\left(\frac{d\varepsilon}{dT}\right)\left(\frac{d\varphi}{dT}\right), \qquad (34)$$

где M – масса ротора, $F^{(e)}$ и $F^{(\varphi)}$ - усилия масляной пленки в случае неполного заполнения смазкой зазора. Они определяются формулами (19), (29)-(33), соответственно, в случаях подачи смазки в направлении, перпендикулярном оси подшипника, и в осевом направлении.

Уравнения (34), определяющие движение шипа, решаются численно с учетом полученных данных (19), (29)-(33). Компоненты ускорения $\frac{d^2\varepsilon}{dT^2}$, $\frac{d^2\varphi}{dT^2}$ представляют собой явные функции параметров ε и φ, $\frac{d\varepsilon}{dT}, \frac{d\varphi}{dT}, \tilde{P}_g, \tilde{P}_H, \tilde{P}_K, \theta_1, \theta_2, \Phi, \beta, \tilde{P}_a$.

Уравнения (34) записывается в стандартной форме первого порядка и решается с помощью метода, разработанного Гиром [7].

Как и в работе [8], после получения решения уравнений движения, устойчивость рассматриваемого движения определяется визуально по графику. При заданных значениях

выше указанных параметров, области устойчивости приведены на рис. 3(a,b). Здесь все точки, которые лежат ниже кривых устойчивости, соответствуют устойчивому движению шипа, а все точки, которые лежат выше кривых, соответствуют неустойчивому движению $\left(\omega_j = \sqrt{g/C}\right)$, где g – ускорение силы тяжести.

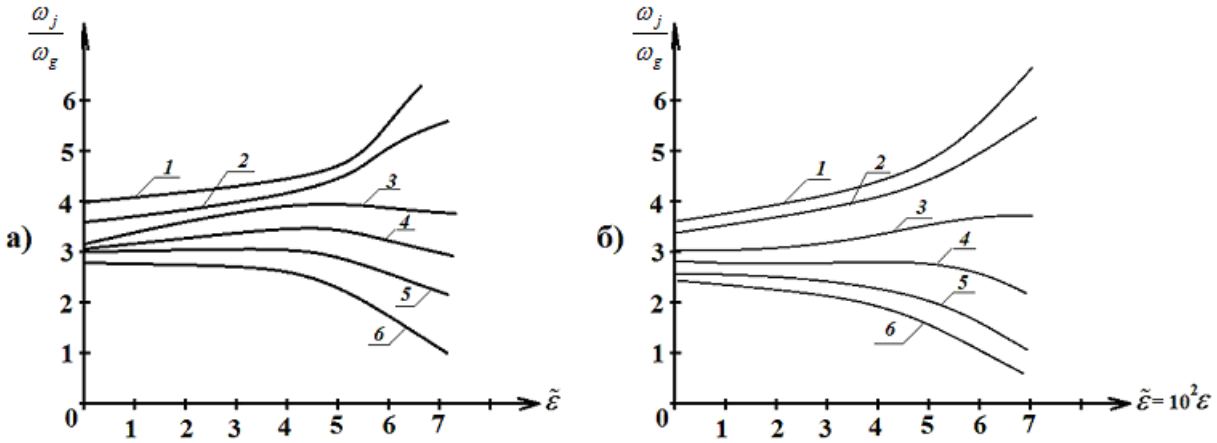

Рис. 3. Схематическое изображение границ устойчивости:

а) Подача смазки в направлении оси Oy ($\tilde{\varepsilon} = 10^2\varepsilon$);

б) Осевая подача смазки ($\tilde{P}_H = 0{,}04; \tilde{P}_K = 0{,}03$).

1 – Ф = 0,03, β = 0,01 (полное заполнение);
2 – Ф = 0,03, β = 0,02 (неполное заполнение);
3 – Ф = 0,02, β = 0,001 (неполное заполнение);
4 – Ф = 0,01, β = 0,001 (неполное заполнение);
5 – Ф = 0,003, β = 0,001 (неполное заполнение);
6 – Ф = 0,001, β = 0,001 (неполное заполнение);

Из найденных аналитических решений и зависимостей, приведенных на рис. 3, следует, что:

1. В случае, когда проницаемость пористого слоя в осевом направлении меняется по нормальному закону, и смазка подается в направлении, перпендикулярном оси подшипника, пористая втулка рассматриваемого подшипника обладает уплотнительным свойством (отсутствуют утечки из торцов подшипника).

2. В случае, когда проницаемость пористого слоя k' зависит от координаты Z по нормальному закону, пористый подшипник работает более устойчиво, чем при $k' = const$.

3. В случае полного заполнения смазкой зазора рассматриваемый подшипник работает более устойчиво, чем при частичном заполнении смазкой зазора.

4. Область устойчивости в случае подачи смазки в направлении, перпендикулярном оси подшипника, намного шире, чем в случае подачи смазки в осевом направлении.

Библиографический список

1. Конри, Кузано. Об устойчивости пористых радиальных подшипников. Конструирование и технология машиностроения, 1974, № 2. С. 206-216.

2. Ахвердиев К.С., Муленко О.В. Об устойчивости двухслойных пористых радиальных подшипников // Вестник РГУПС 2002. № 3 – С. 5-7.

3. Кузано К., Фанк. Исследование коэффициента передачи упругой опоры качения в демпфере со сдавливаемой пленкой и пористой обоймой, Проблемы трения и смазки № 1, 1974, изд-во «Мир». С. 54.

4. Ахвердиев К.С., Копотун Б.Е. Разработка математической модели гидродинамического расчета конических подшипников. – Ростов н/Д: Вестник РГУПС, № 3, 2005.

5. Ахвердиев К.С., Кочетова С.Ф., Мукутадзе М.А. Нестационарная математическая модель гидродинамической смазки сложнонагруженного составного конического подшипника с пористым слоем на его рабочей поверхности с учетом его конструктивной особенности. Вестник РГУПС, № 1, 2009. – С. 135-143.

6. Ахвердиев К.С., Копотун Б.Е., Мукутадзе М.А. Устойчивость движения шипа в коническом подшипнике с пористым слоем на рабочей поверхности // Трение и износ. – 2007. – Т. 28. -№ 4. – С. 361-366.

7. Gear C.W., Numarical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs N.J., 1972.

8. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Флек Б.М., Задорожная Н.С., Поляков Е.В. Расчетная модель гидродинамической смазки неоднородного пористого подшипника конечной длины, работающего в устойчивом нестационарном режиме трения при наличии принудительной подачи смазки. Ростов н/Д: Инженерный вестник Дона. Электронный научный журнал, № 3, 2013.