УДК 621.896 + 06

К.С. Ахвердиев, Е.В. Поляков, Б.М. Флек

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ДВУХСЛОЙНОГО ПОРИСТОГО ПОДШИПНИКА КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ПОДАЧЕ СМАЗКИ

Как известно, металлокерамические пористые материалы являются эффективными заменителями дорогостоящих металлов и других цветных материалов для изготовления подшипников.

В существующих расчетных моделях [1-4] в пористых подшипниках конечной длины, работающих под давлением, учитывается подача смазки либо в осевом направлении, либо в направлении, перпендикулярном оси подшипника. В предлагаемой нестационарной модели учитывается комбинированная подача смазки. Кроме того, пористая втулка предполагается двухслойной, каждый слой имеет свое функциональное назначение. Здесь проницаемость пористых слоев считается функциями осевой координаты z (рис. 1). Согласно [4–5], уравнение, определяющее течение смазки в пористых слоях, представляется в виде [5]

$$\frac{\partial^2 P_i^*}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P_i^*}{\partial z^2} + \frac{\partial N}{\partial z} \frac{\partial P_i}{\partial z} = 0, k_i^{'} = k_i e^{N\left(\frac{z}{L}\right)}, \tag{1}$$

где у и z осевые координаты, P_i^* – гидродинамическое давление в пористых слоях, k_i' – проницаемость пористых слоев; k_i – характерные проницаемости слоев, $N\left(\frac{z}{L}\right)$ – известная безразмерная функция z; L – длина подшипника.



Рис. 1. Радиальный подшипник конечной длины с двухслойной пористой обоймой при комбинированной подаче смазки

Для определения давления в зазоре радиального подшипника (между шипом и подшипником) будем исходить из модифицированного уравнения Рейнольдса [5]

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

где $h = C(1 + \epsilon \cos \theta)$ – толщина пленки смазки, C – радиальный зазор, ϵ – относительный эксцентриситет, θ – угловая координата, 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 у на внутренней границе пористого слоя, прилегающая к зазору:

$$v_1 = -\frac{k_1}{\mu} \left(\frac{\partial p_1}{\partial y} \right) \bigg|_{y=0}$$

Система уравнений (1) – (2) решается при граничных условиях (см. рис. 1).

$$p_{1}^{*} = p \operatorname{при} y = 0; \ p_{2}^{*} = p_{g} \operatorname{прu} y = -H; \ p_{1}^{*} = p = p_{H}^{*} \operatorname{прu} z = -\frac{H}{2};$$
$$p_{1}^{*} = p = p_{K} \operatorname{пpu} z = \frac{H}{2}; \ p_{1}^{*} = p_{2}^{*}, \ k_{1} \frac{\partial p_{1}^{*}}{\partial y} = k_{2} \frac{\partial p_{2}^{*}}{\partial y} \operatorname{пpu} y = -H_{1}.$$
(3)

Здесь p_H и p_K – давление в начальном и конечном сечении; p_g – давление в направлении, перпендикулярном оси.

Решение задачи (1) – (3) найдено по методике, предложенной в работе [5]. В результате получено аналитическое выражение для гидродинамического давления в смазочном слое и в последующем для усилий масляной пленки. Задача об устойчивом движении шипа в подшипнике рассматривается на основе следующих безразмерных уравнений:

$$\frac{d^{2}\epsilon}{dT^{2}} = -\frac{F^{e}}{\omega_{j}^{2}MC} + \left(\frac{\omega_{g}}{\omega_{j}}\right)^{2}\cos\phi + \epsilon\left(\frac{d\phi}{dT}\right)^{2},$$
$$\frac{d^{2}\phi}{dT^{2}} = \frac{F^{\phi}}{\epsilon\omega_{j}^{2}MC} - \frac{1}{\epsilon}\left(\frac{\omega_{g}}{\omega_{j}}\right)^{2}\sin\phi - \frac{2}{\epsilon}\left(\frac{d\epsilon}{dT}\right)\left(\frac{d\phi}{dT}\right),$$
(4)

где M – масса ротора, $F^{(e)}$ и $F^{(\phi)}$ – усилия масляной пленки; $T = \omega_j t$; $\epsilon = e/C$; e – эксцентриситет; C – радиальный зазор; $\omega_g = \sqrt{g/c}$, g – ускорение силы тяжести.

Уравнение (4) решается численно методом Гира [6], $\frac{d\epsilon}{dr^2}$, $\frac{d^2\phi}{dT^2}$ представляют собой явные

функции

$$\epsilon; \phi; \frac{d\epsilon}{dr}; \frac{d\epsilon}{dT}; \frac{d\phi}{dT}, \tilde{P}_{H}, \tilde{P}_{K}, \tilde{P}_{g}; \frac{k_{1}}{k_{1}}, \Phi, \alpha, \beta,$$

где $\tilde{P}_{H} = \frac{P_{K}C^{2}}{\mu R^{2}\omega_{j}}, \tilde{P}_{K} = \frac{P_{k}C^{2}}{\mu R^{2}\omega_{j}}, \tilde{P}_{g} = \alpha z + b + \tilde{\tilde{P}}_{g}; \tilde{\tilde{P}}_{g} = \text{const}; N = e^{-\beta z^{2}}\alpha = \frac{\tilde{P}_{K} - \tilde{P}_{H}}{2}, z = \frac{2z}{L}, R$ – радиус
шила; $\phi = \frac{k_{1}H}{\alpha^{3}}.$

С³ Устойчивость рассматриваемого движения определяется визуально по графику. При заданных значениях вышеуказанных параметров области устойчивости приведены на рис. 2. Здесь все точки, которые лежат ниже кривых, соответствуют устойчивому движению шипа, а все точки, которые лежат выше, соответствуют неустойчивому движению шипа:

- 1) $\Phi = 0,01; k_2 / k_1 = 1,1; \alpha = 0; \tilde{P}_g = 0,04;$
- 2) $\Phi = 0,01; k_2 / k_1 = 1,1; \alpha = 0,1; \tilde{P}_g = 0,04;$
- 3) $\Phi = 0,02; k_2 / k_1 = 1,1; \alpha = 0,1; \tilde{P}_g = 0,04.$



Рис. 2. Схематическое изображение границ области устойчивости движения шипа в подшипнике при комбинированной подаче смазки

Из значений, приведенных на рис. 2, следует:

1 Устойчивость работы подшипника существенно зависит от конструктивного параметра (Φ), отношения проницаемостей пористых слоев (k_2/k_1) и способа подачи смазки.

2 С увеличением значения проницаемостей пористых слоев k_2/k_1 и конструктивного параметра Φ область устойчивости резко расширяется.

3 При комбинированной подаче смазки подшипник работает более устойчиво, чем при осевой или перпендикулярно оси направления подачи смазки.

Библиографический список

1 **Толпинская, Н.Б.** Пористый подшипник конечной длины с подачей смазки через поры вкладыша : дис. ... канд. техн. наук / Н.Б. Толпинская. – Ростов н/Д, 1986. – С. 20–40.

2 **Ахвердиев, К.С.** Об одном точном решении задачи о радиальном пористом подшипнике конечной длины / К.С. Ахвердиев, Л.И. Прянишникова // Трение и износ. – 1993 – Т. 12. – № 1. – С. 24–32.

3 **Ахвердиев, К.С.** Гидродинамический расчет пористых подшипников с переменной проницаемостью вдоль оси с учетом нелинейных факторов / К.С. Ахвердиев, Л.И. Прянишникова, Ю.И. Пустовой // Трение и износ. – 1993. – Т. 14. – № 5.– С. 813–821.

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

5 Аналитическое прогнозирование передаточных характеристик центрально нагруженного демпфера со сдавливаемой пленкой и пористой обоймой с учетом влияния анизотропии проницаемости пористого слоя и источника смазки / К.С. Ахвердиев, М.А. Мукутадзе, Н.С. Задорожая, Б.М. Флек // Вестник РГУПС. – 2013. – № 4 (52). – С. 131–142.

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

УДК 656.22 + 06

М.В. Бакалов

РАЗВИТИЕ ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОДХОДОВ К НОВОРОССИЙСКОМУ ТРАНСПОРТНОМУ УЗЛУ И ПОРТАМ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Существующие пропускные способности ближних подходов к портам Азово-Черноморского бассейна не обеспечат выполнение перспективных объемов грузопотоков уже в ближайшие годы. Такое положение сложилось в результате отставания роста пропускных способностей международных транспортных коридоров от роста объемов грузопотоков. «Узкими местами» являются однопутные участки на подходах к южным портам. Строительство нового порта Тамань на мысе Железный Рог повысит возможности портовых терминалов по перевалке грузов, в то же время потребуется дополнительное усиление пропускной способности подходов к портам. В таблице приведены расчетные величины пропускной способности железнодорожных участков и фактические объемы загрузки участков на текущий период.

Резерв пропускной способности однопутного участка должен быть равен 15–20 %. Как видно из таблицы, отсутствие резервов пропускной способности для обеспечения дополнительных объемов грузоперевозок требует усиления участков Крымская – Краснодар, Разъезд 9 км – Вышестеблиевская, Крымская – Новороссийск, Крымская – Грушевая, Юровский – Анапа.

Расчет наличной пропускной способности однопутных участков Крымская – Тимашевская, Крымская – Краснодар для параллельного непакетного графика выполнен по формуле¹

¹ Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. – М.: Техинформ, 2011.