



УДК 621.822.572.001-66

© А. И. Иволгин, 2006

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ ЗАМКНУТЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАКТОРА СМЕЩЕННОЙ НАСТРОЙКИ ПРИ КАПИЛЛЯРНО-ДРОССЕЛЬНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Иволгин А. И. – канд. техн. наук, доц. кафедры "Компьютерное проектирование и сертификация машин" (ТОГУ)

Исследовано одновременное влияние настроечного гидравлического давления и смещенной настройки подвижного звена плоских замкнутых гидростатических опор на их статические силовые характеристики при капиллярно-дроссельном регулировании. Предложена оригинальная схема конструктивных расчетов плоских замкнутых гидростатических опор.

The author investigates the simultaneous influence of adjusting the hydraulic pressure and the displaced adjustment of a mobile link of the flat closed hydraulic bearings for their static power characteristics at capillary – throttle control. He offers the original scheme of constructive calculations of the locked hydrostatic bearings.

Гидростатические опоры с дроссельным регулированием нашли широкое применение в связи с простотой конструкции дросселя и высокой надежности опор. Однако внедрение в производство таких опор не мало сдерживается сложностью инженерных расчетов, особенно при разности эффективных площадей противоположных сторон опоры, например, осевых опор шпиндельных узлов и гидростатических направляющих, для которых и проведены выводы. Если принять (рис. 1), что h' – зазоры в гидростатической опоре при симметричном положении подвижного звена, например бурта осевой опоры шпинделя, а h'_1 и h'_2 – зазоры при гидравлической смещенной настройке (за счет регулирования величины сопротивления дросселей), причем h'_1 соответствует

той стороне опоры, которая воспринимает положительную нагрузку, то относительное настроечное смещение

$$E = \frac{\Delta h_E}{h'} = \frac{h'_2 - h'_1}{2h'} \quad (1)$$

здесь Δh_E - величина настроечного гидравлического смещения по направлению положительной нагрузки.

Естественно, что

$$h'_1 = h' - \Delta h' = h'(1 - E); \quad (2)$$

$$h'_2 = h' + \Delta h' = h'(1 + E). \quad (3)$$

При приложении внешней нагрузки в сторону уменьшения зазора h'_1 произойдет дальнейшее смещение бурта шпинделя на величину Δh . Тогда относительное рабочее смещение

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h'} \quad (4)$$

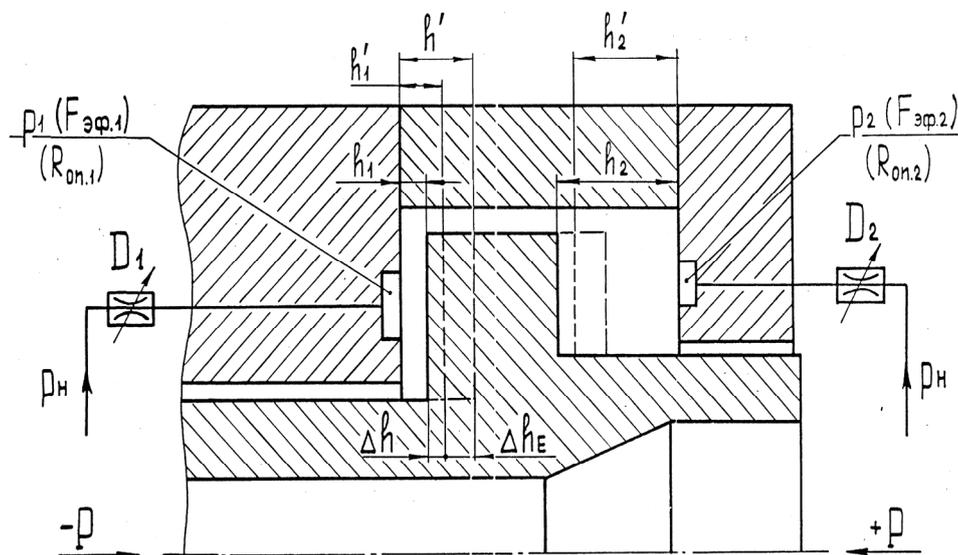


Рис. 1. Расчетная схема плоской замкнутой гидростатической опоры

Рабочие зазоры, соответствующие нагруженному состоянию



$$h_1 = h'_1 - h'\varepsilon = h'(1 - E - \varepsilon); \quad (5)$$

$$h_2 = h'_2 - h'\varepsilon = h'(1 + E + \varepsilon); \quad (6)$$

В общем случае конструктивного исполнения давления в карманах опоры в момент настройки не равны между собой и обратно пропорциональны величинам эффективных площадей:

$$\rho'_1 F_{\text{эф}1} = \rho'_2 F_{\text{эф}2}, \quad (7)$$

где ρ'_1 и ρ'_2 – давления в карманах при настройке, тогда

$$\frac{\rho'_1}{\rho'_2} = \frac{F_{\text{эф}2}}{F_{\text{эф}1}} = K, \quad (8)$$

где K - коэффициент отношения эффективных площадей.

Примем, что

$$\rho'_1 = m_1 \rho_H \text{ и } \rho'_2 = m_2 \rho_H, \quad (9)$$

здесь m_1 и m_2 - относительные настроечные давления жидкости в карманах, соответствующие зазорам h'_1 и h'_2 .

Из выражений (8) и (9)

$$K = \frac{m_1}{m_2}. \quad (10)$$

Настроечный коэффициент m_1 принимаем за коэффициент настроечного давления опоры в целом, тогда

$$m_2 = \frac{m_1}{K}. \quad (11)$$

Несущая способность опоры

$$P = \rho_1 F_{\text{эф}1} - \rho_2 F_{\text{эф}2}. \quad (12)$$

Примем, что при рабочем смещении



$$P_1 = \beta_1 \rho_H \quad \text{и} \quad P_2 = \beta_2 \rho_H, \quad (13)$$

здесь β_1 и β_2 – относительные рабочие давления жидкости в соответствующих карманах.

Запишем уравнение (12) с учетом (8) и (13)

$$P = \rho_H F_{\text{эф}} l (\beta_1 - K\beta_2). \quad (14)$$

В безразмерном виде

$$\bar{P} = \frac{P}{\rho_H F_{\text{эф}} l} = \beta_1 - K\beta_2. \quad (15)$$

Относительные давления β_1 и β_2 могут быть определены посредством рабочих коэффициентов толщины масляной пленки (зазора), если каждую из противоположных опор замкнутой опоры представить в виде открытой [1]

$$K_{h1} = \left(\frac{1 - \beta_1}{\beta_1} \right)^{1/3} = K_{h1'} \frac{h_1}{h_1'}, \quad (16)$$

$$K_{h2} = \left(\frac{1 - \beta_2}{\beta_2} \right)^{1/3} = K_{h2'} \frac{h_2}{h_2'}, \quad (17)$$

где K_{h1} ; $K_{h1'}$ и K_{h2} ; $K_{h2'}$ – рабочие и настроечные коэффициенты толщины масляной пленки соответствующих сторон.

Настроечные коэффициенты толщины масляной пленки могут быть

$$K_{h1'} = \left(\frac{1 - m_1}{m_1} \right)^{1/3}; \quad (18)$$

$$K_{h2'} = \left(\frac{1 - m_2}{m_2} \right)^{1/3}. \quad (19)$$

Тогда из (16)



$$\left(\frac{1-\beta_1}{\beta_1}\right)^{1/3} = \left(\frac{1-m_1}{m_1}\right)^{1/3} \frac{h_1}{h_1'} \quad (20)$$

или с учетом (2) и (5)

$$\left(\frac{1-\beta_1}{\beta_1}\right)^{1/3} = \left(\frac{1-m_1}{m_1}\right)^{1/3} \left(\frac{1-E-\varepsilon}{1-E}\right). \quad (21)$$

После преобразования находим

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + \frac{1-m_1}{m_1} \left(\frac{1-E-\varepsilon}{1-E}\right)^3} \quad (22)$$

аналогично

$$\beta_2 = \frac{1}{1 + \frac{1-m_2}{m_2} \left(\frac{1+E+\varepsilon}{1+E}\right)^3} \quad (23)$$

с учетом (10)

$$\beta_2 = \frac{1}{1 + \frac{K-m_1}{m_1} \left(\frac{1+E+\varepsilon}{1+E}\right)^3}. \quad (24)$$

Выражение (15) безразмерной несущей способности окончательно примет вид

$$\bar{P} = \frac{1}{1 + \frac{1-m_1}{m_1} \left(\frac{1-E-\varepsilon}{1-E}\right)^3} - \frac{K}{1 + \frac{K-m_1}{m_1} \left(\frac{1+E+\varepsilon}{1+E}\right)^3}. \quad (25)$$



При симметричной настройке, когда $E=0$,

$$\bar{P} = \frac{1}{1 + \frac{1-m_1}{m_1}(1-\varepsilon)^3} - \frac{K}{1 + \frac{K-m_1}{m_1}(1+\varepsilon)^3}. \quad (26)$$

Перевод безразмерного значения несущей способности в размерное осуществляется по формуле

$$P = \bar{P} \cdot \rho_H \cdot F_{\text{эф}} \beta_1. \quad (27)$$

Жесткость гидростатической опоры с дросселем типа "капилляр" может быть определена, если представить замкнутую гидростатическую опору в виде двух зависимых через настроечные зазоры незамкнутых опор [1].

Несущая способность первой незамкнутой опоры при рабочем зазоре h_1 будет

$$P_1 = \rho_H F_{\text{эф}} \beta_1. \quad (28)$$

Рабочий зазор может быть выражен [2, 3]

$$h_1 = C_{1h} \left(\frac{1-\beta_1}{\beta_1} \right)^{1/3}, \quad (29)$$

где C_{1h} – постоянный коэффициент, зависящий от конструктивного исполнения и размеров опоры и дросселя.

При отсутствии внешней нагрузки настроечный зазор может быть выражен как

$$h_1' = C_{1h} \left(\frac{1-m_1}{m_1} \right)^{1/3}. \quad (30)$$

Тогда

$$C_{1h} = \frac{h_1' \cdot m_1^{1/3}}{(1-m_1)^{1/3}}. \quad (31)$$

Используя выражение (29)



$$\beta_1 = \frac{C_{1h}^3}{h_1^3 + C_{1h}^3}, \quad (32)$$

Тогда

$$P_1 = \rho_H F_{\text{эф1}} \frac{C_{1h}^3}{h_1^3 + C_{1h}^3}. \quad (33)$$

Дифференцируя выражение (33), находим жесткость

$$J_1 = \frac{dP_1}{dh_1} = -\rho_H F_{\text{эф1}} \frac{3h_1^2 C_{1h}^3}{(h_1^3 + C_{1h}^3)^2} \quad (34)$$

или с учетом (29) и (31)

$$J_1 = -\frac{3\rho_H \cdot F_{\text{эф1}}}{h_1'} \beta_1^2 \left(\frac{1-m_1}{m_1} \right)^{1/3} \left(\frac{1-\beta_1}{\beta_1} \right)^{2/3}. \quad (35)$$

Знак "минус" в дальнейшем опускаем. Аналогично жесткость противоположной незамкнутой опоры

$$J_2 = -\frac{3\rho_H \cdot F_{\text{эф2}}}{h_2'} \beta_2^2 \left(\frac{1-m_2}{m_2} \right)^{1/3} \left(\frac{1-\beta_2}{\beta_2} \right)^{2/3}. \quad (36)$$

Жесткость замкнутой опоры равна сумме жесткостей противоположных сторон [1], тогда с учетом (2), (3), (8)

$$J = K_j \bar{j} = K_j \left[\beta_1^2 \left(\frac{1-m_1}{m_1} \right)^{1/3} \left(\frac{1-\beta_1}{\beta_1} \right)^{2/3} \frac{1}{(1-E)} + \beta_2^2 \left(\frac{K-m_1}{m_1} \right)^{1/3} \left(\frac{1-\beta_2}{\beta_2} \right)^{2/3} \frac{K}{(1+E)} \right], \quad (37)$$



где $K_j = \frac{3\rho_H \cdot F_{\partial\phi 1}}{h'}$ - коэффициент жесткости опоры.

Для определения значений β_1 и β_2 используются выражения (22) и (24).

При центральной настройке ($E = 0$) безразмерная жесткость

$$\bar{j} = \beta_1^2 \left(\frac{1-m_1}{m_1} \right)^{1/3} \left(\frac{1-\beta_1}{\beta_1} \right)^{2/3} + K\beta_2^2 \left(\frac{K-m_1}{m_1} \right)^{1/3} \left(\frac{1-\beta_2}{\beta_2} \right)^{2/3}, \quad (38)$$

причем в этом случае

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + \frac{1-m_1}{m_1}(1-\varepsilon)^3}, \quad (39)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{1 + \frac{K-m_1}{m_1}(1+\varepsilon)^3}. \quad (40)$$

При центральной настройке и нулевой нагрузке ($E = 0, \varepsilon = 0, \beta_1 = m_1, \beta_2 = m_2$)

$$\bar{j} = m_1 \left[2 - m_1 \left(1 + \frac{1}{K} \right) \right]. \quad (41)$$

Следует иметь ввиду, что на основании выражения (10) величина m_1 не может быть больше коэффициента K , т.к. в этом случае $m_2 > 1$, что невозможно ($P_2 > P_H$).

Перевод безразмерного значения жесткости в размерное осуществляется по формуле

$$J = \bar{j} \frac{3\rho_H \cdot F_{\partial\phi 1}}{h'}. \quad (42)$$

Примечание. Заданные настроечные параметры m и E осуществляются путем настройки входных сопротивлений дросселей по формулам:



- со стороны большей эффективной площади

$$R_{\partial p1} = R_{on1} \frac{1 - m_1}{m_1(1 - E)^3}; \quad (43)$$

- со стороны меньшей эффективной площади

$$R_{\partial p2} = R_{on1} \frac{K - m_1}{n \cdot m_1(1 + E)^3}, \quad (44)$$

где $n = \frac{R_{on1}}{R_{on2}}$, причем значения R_{on1} и R_{on2} соответствуют симметричному расположению подвижной части опоры.

Выводы

1. Использование гидравлического настроечного смещения E позволяет не только сохранить, но по жесткости масляного слоя улучшить силовые характеристики плоских замкнутых гидростатических опор особенно при завышенных по технологическим соображениям зазорах в опоре (рис. 2, 3).

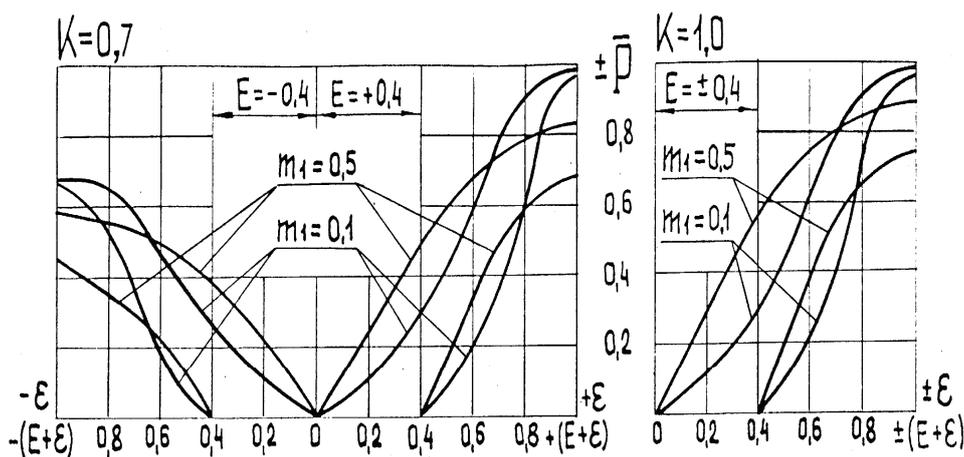


Рис. 2. Зависимость несущей способности от настроечных параметров и смещений (значения K , E и m_1 – произвольные)

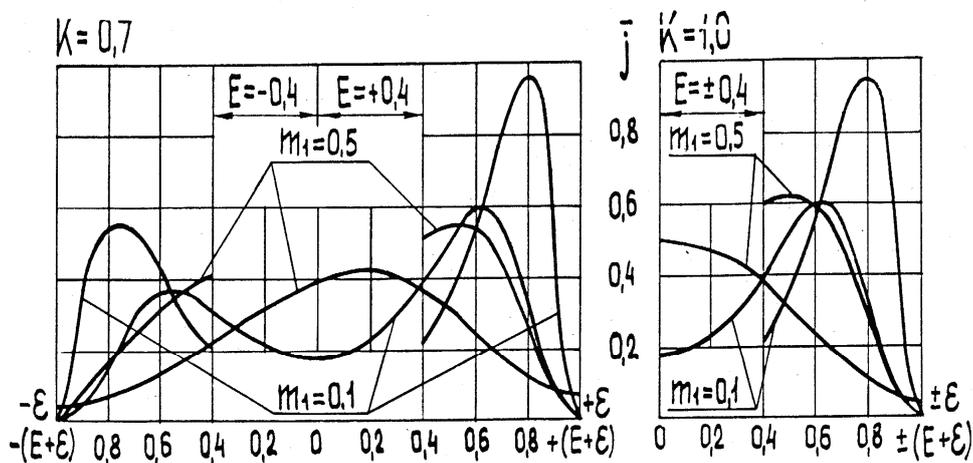


Рис. 3. Зависимость жесткости от настроечных параметров и смещений

2. Для наиболее распространенного диапазона внешних нагрузок ($P = 0,4 \div 0,8$) применение настроечного давления, близкого к значению $m_1 = 0,1$, обеспечивает, во-первых, стабильную величину несущей способности и, во-вторых, значительное (в 2-4 раза) повышение жесткости масляного слоя (особенно при использовании гидравлического смещения E) по сравнению с характеристиками опор, в которых принята распространенная на практике настройка $m_1 = 0,5$. Многолетняя эксплуатация автоматов мод. 1Г140П, в гидростатических шпиндельных опорах которого использованы настройки $m_1 = 0,05-0,1$, подтверждает эти выводы [4].

Библиографические ссылки

1. Rippel H. C. Design of Hydrostatic bearings. Part 6. Machine design, 1963, October 10.
2. Левит Г. А., Лурье Б. Г. Расчет гидростатических незамкнутых направляющих // Станки и инструмент. 1963. № 10.
3. Rippel H. C. Design of Hydrostatic bearings. Part 3. Machine design, 1963, August 29.
4. Иволгин А. И. Токарно-револьверный одношпиндельный прутковый автомат мод. 1Г140П // Станки и инструмент. 1985. № 6.