



УДК 621.822.572.001-66

© *А. И. Иволгин, О. И. Скарлыкина, 2008***ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ
ЗАМКНУТЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР
ПРИ ДИАФРАГМЕННО-ДРОССЕЛЬНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ**

Иволгин А. И. – канд. техн. наук, доц. кафедры «Компьютерное проектирование и сертификация машин»; *Скарлыкина О. 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 диафрагменно-дроссельном регулировании. Предложена оригинальная схема конструктивных расчетов плоских замкнутых гидростатических опор.

A simultaneous impact of an adjusting hydraulic pressure and a shifted adjustment of a mobile link of flat hydraulic bearings on their static characteristics at throttle control are investigated. A specific scheme for constructive design of flat closed hydrostatic bearings is proposed.

Использование диафрагменно-дроссельных регуляторов по сравнению с капиллярно-дроссельным регулированием несколько снижает демпфирующие свойства гидросистем, однако конструктивные особенности таких регуляторов обеспечивают быстроту исполнения команд, что практически важно при использовании автоматизированных схем оптимизации настроечных параметров гидростатических опор.

Расчетная схема и терминология замкнутых гидростатических опор представлена в [1].

Несущая способность опоры

$$P = p_1 F_{\text{эф}1} - p_2 F_{\text{эф}2} . \quad (1)$$

Примем, что при рабочем смещении

$$p_1 = \beta_1 p_H \quad \text{и} \quad p_2 = \beta_2 p_H , \quad (2)$$

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

Запишем уравнение (1) с учетом (2)

$$P = p_H F_{\text{эф}1} (\beta_1 - K\beta_2) . \quad (3)$$

В безразмерном виде

$$\bar{P} = \frac{P}{p_H F_{\text{эф}1}} = \beta_1 - K\beta_2 . \quad (4)$$

Зависимость между коэффициентами толщины масляной пленки при рабочем и настроенном режиме для противоположных сторон замкнутой опоры, представленной в виде двух незамкнутых [2], [4]

$$k_{h1} = \frac{(1 - \beta_1)^{1/6}}{\beta_1^{1/3}} = k_{h1'} \frac{h_1}{h_1'} ; \quad (5)$$

$$k_{h2} = \frac{(1 - \beta_2)^{1/6}}{\beta_2^{1/3}} = k_{h2'} \frac{h_2}{h_2'} , \quad (6)$$

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

Настроенные коэффициенты толщины масляной пленки могут быть записаны

$$k_{h1'} = \frac{(1 - m_1)^{1/6}}{m_1^{1/3}} ; \quad (7)$$

$$k_{h2'} = \frac{(1 - m_2)^{1/6}}{m_2^{1/3}} . \quad (8)$$

Тогда с учетом (2) и (5)



$$\frac{(1 - \beta_1)^{1/6}}{\beta_1^{1/3}} = \frac{(1 - m_1)^{1/6}}{m_1^{1/3}} \cdot \frac{h_1}{h_1'} = \frac{(1 - m_1)^{1/6}(1 - E - \varepsilon)}{m_1^{1/3}(1 - E)}. \quad (9)$$

Возводим обе части уравнения в шестую степень, получаем квадратное уравнение

$$\frac{1}{\beta_1^2} - \frac{1}{\beta_1} - C = 0, \quad \text{где } C = \frac{1 - m_1}{m_1^2} \cdot \frac{(1 - E - \varepsilon)^6}{(1 - E)^6} \quad (10)$$

После нахождения корней уравнения с учетом того, что β_1 не может быть величиной отрицательной,

$$\beta_1 = \frac{1}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1 - m_1}{m_1^2} \left(\frac{1 - E - \varepsilon}{1 - E} \right)^6}} \quad (11)$$

аналогично

$$\beta_2 = \frac{1}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1 - m_2}{m_2^2} \left(\frac{1 + E + \varepsilon}{1 + E} \right)^6}} \quad (12)$$

с учетом [1]

$$\beta_2 = \frac{1}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{K(K - m_1)}{m_1^2} \left(\frac{1 + E + \varepsilon}{1 + E} \right)^6}}. \quad (13)$$

Выражение (4) безразмерной несущей способности окончательно примет вид

$$\bar{P} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1 - m_1}{m_1} \left(\frac{1 - E - \varepsilon}{1 - E} \right)^6}} - \frac{K}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{K(K - m_1)}{m_1} \left(\frac{1 + E + \varepsilon}{1 + E} \right)^6}} \quad (14)$$

При центральной настройке ($E=0$)

$$\bar{P} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1 - m_1}{m_1} (1 - \varepsilon)^6}} - \frac{K}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{K(K - m_1)}{m_1} (1 + \varepsilon)^6}} \quad (15)$$

Жесткость

Жесткость опоры определяется как сумма жесткостей противоположных сторон опоры. Рабочий зазор незамкнутой опоры с большей эффективной площадью

$$h_1 = C_{1h} \frac{(1 - \beta_1)^{1/6}}{\beta_1^{1/3}} = C_{1h} \left(\frac{1 - \beta_1}{\beta_1^2} \right)^{1/6}. \quad (16)$$

Аналогично для незамкнутой опоры с меньшей эффективной площадью

$$h_2 = C_{2h} \left(\frac{1 - \beta_2}{\beta_2^2} \right)^{1/6}, \quad (17)$$

где C_{1h} и C_{2h} – постоянные коэффициенты, зависящие от конструктивных размеров опор и их дросселей, вязкости масла и давления насоса [3].

Настроечный зазор опоры с большей эффективной площадью ($\varepsilon=0$)

$$h_1' = C_{1h} \frac{(1 - m_1)^{1/6}}{m_1^{1/3}}. \quad (18)$$

Тогда

$$C_{1h} = \frac{h_1' \cdot m_1^{1/3}}{(1 - m_1)^{1/6}}. \quad (19)$$

По формуле (16) примем, что

$$\frac{1 - \beta_1}{\beta_1^2} = A \quad (20)$$

Тогда

$$A = \left(\frac{h_1}{C_{1h}} \right)^6 \quad (21)$$

Выражение (20) разворачивается в квадратное уравнение

$$A\beta_1^2 + \beta_1 - 1 = 0, \quad (22)$$



после решения которого с учетом (32)

$$\beta_1 = \frac{C_{1h}^3}{2h_1^6} \left(\sqrt{C_{1h}^6 + 4h_1^6} - C_{1h}^3 \right). \quad (23)$$

Несущая способность незамкнутой опоры с большей эффективной площадью

$$P_1 = p_n F_{\text{эф}1} \beta_1$$

$$P_1 = p_n F_{\text{эф}1} C_{1h}^3 \left(\frac{\sqrt{C_{1h}^6 + 4h_1^6} - C_{1h}^3}{2h_1^6} \right). \quad (24)$$

Дифференцируя выражение (24) по зазору h_1 , находим жесткость

$$j_1 = \frac{dP_1}{dh_1} = -p_n F_{\text{эф}1} C_{1h}^3 \frac{3}{h_1^7} \left(\frac{2h_1^6 + C_{1h}^6}{\sqrt{C_{1h}^6 + 4h_1^6}} - C_{1h}^3 \right). \quad (25)$$

После подстановки h_1 по (16) и преобразований

$$j_1 = -\frac{6p_n \cdot F_{\text{эф}1}}{C_{1h}} \beta_1^{4/3} \frac{(1 - \beta_1)^{5/6}}{2 - \beta_1}. \quad (26)$$

Знак "минус" в дальнейшем опускаем.

С учетом (19) формула жесткости примет вид:

$$j_1 = \frac{6p_n \cdot F_{\text{эф}1}}{h_1'} \cdot \frac{(1 - m_1)^{1/6}}{m_1^{1/3}} \cdot \beta_1^{4/3} \cdot \frac{(1 - \beta_1)^{5/6}}{2 - \beta_1}. \quad (27)$$

Аналогично, жесткость противоположной незамкнутой опоры

$$j_2 = \frac{6p_n \cdot F_{\text{эф}2}}{h_2'} \cdot \frac{(1 - m_2)^{1/6}}{m_2^{1/3}} \cdot \beta_2^{4/3} \cdot \frac{(1 - \beta_2)^{5/6}}{2 - \beta_2}. \quad (28)$$

Принимая во внимание [1], жесткость замкнутой опоры с диафрагменным дросселированием

$$j = K \bar{j} = K \bar{j} \left[\frac{(1-m_1)^{1/6} \beta_1^{4/3} (1-\beta_1)^{5/6}}{m_1^{1/3} (2-\beta_1)} \frac{1}{(1-E)} + \frac{(K-m_1)^{1/6} \beta_2^{4/3} (1-\beta_2)^{5/6}}{m_1^{1/3} (2-\beta_2)} \frac{K^{7/6}}{(1+E)} \right] \quad (29)$$

где $K \bar{j} = \frac{6 p_n \cdot F \cdot \Delta \phi_1}{h'}$ – коэффициент жесткости опоры. (30)

Для определения значений β_1 и β_2 используются выражения (11) и (13).

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

$$\bar{j} = \frac{(1-m_1)^{1/6} \beta_1^{4/3} (1-\beta_1)^{5/6}}{m_1^{1/3} (2-\beta_1)} + \frac{K^{7/6} (K-m_1)^{1/6} \beta_2^{4/3} (1-\beta_2)^{5/6}}{m_1^{1/3} (2-\beta_2)}, \quad (31)$$

причем в этом случае

$$\beta_1 = \frac{1}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1-m_1}{m_1^2} (1-\varepsilon)^6}} \quad (32)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{K(K-m_1)}{m_1^2} (1+\varepsilon)^6}} \quad (33)$$

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

$$\bar{j} = m_1 \left(\frac{1-m_1}{2-m_1} + \frac{K-m_1}{2K-m_1} \right). \quad (34)$$

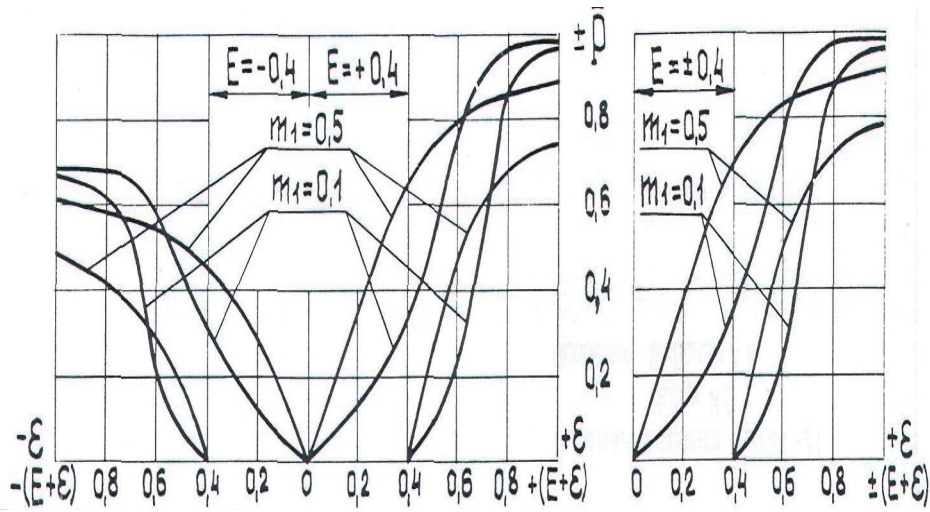


Рис. 1. Зависимость несущей способности от настроечных параметров и смещений (значения K , E и m_1 – произвольные)

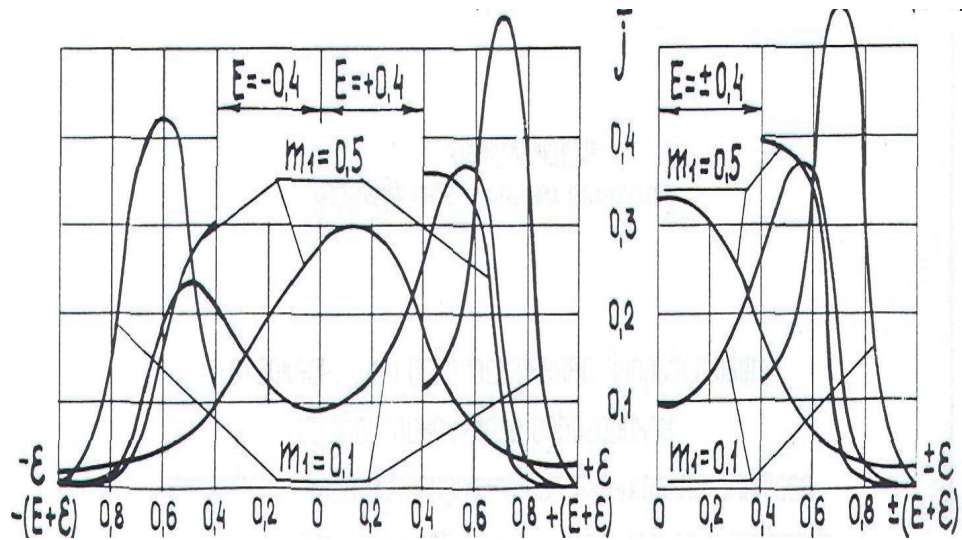


Рис. 2. Зависимость жесткости от настроечных параметров и смещений



Выводы

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. 1, 2).

Библиографические ссылки

1. *Иволгин А. И.* Определение силовых характеристик плоских замкнутых гидростатических опор с использованием фактора смещенной настройки при капиллярно-дрессельном регулировании // Вестник ТОГУ. 2006. № 2.
2. *Rippel H. C.* Design of Hydrostatic bearings. Part 6. Machine design, 1963, Oktober 10.
3. *Левит Г. А., Лурье Б. Г.* Расчет гидростатических незамкнутых направляющих // Станки и инструмент. 1963. № 10.
4. *Rippel H. C.* Design of Hydrostatic bearings. Part 3. Machine design, 1963, August 29.