

МЕТОД РАСЧЕТА ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ АППАРАТА ТЕОРИИ ПОДОБИЯ

Приведен метод расчета ресурса опор скольжения, работающих в гидродинамическом режиме, с привлечением аппарата теории подобия. В качестве критерия оценки принята минимальная толщина масляной пленки, препятствующая возникновению металлического контакта поверхностей. Показана перспективность метода на примере расчета ресурсов опор хладоновых герметичных компрессоров.

Ключевые слова: ресурс, теория подобия, герметичный компрессор, масляная пленка.

Наведено метод розрахунку ресурсу опор ковзання, що працюють у гідродинамічному режимі, із залученням апарату теорії подібності. В якості критерію оцінки прийнято мінімальну товщину масляної плівки, що перешкоджає виникненню металевому контакту поверхонь. Показано перспективність методу на прикладі розрахунку ресурсів опор хладонових герметичних компресорів.

Ключові слова: ресурс, теорія подібності, герметичний компресор, масляна плівка.

The method of calculating the resource sliding bearings operating in the hydrodynamic regime, with the involvement of the theory of similarity. As a criterion for assessing the minimum oil film thickness, prevents metal contact surfaces. The prospects of this method applied to calculate the resource supports chladone hermetic compressors.

Key words: resource, similarity theory, hermetic compressor, an oil film.

1. Введение. Большинство работ, направленных на прогнозирование износостойкости, связано с экспериментальными исследованиями, поскольку износ зависит от многочисленных факторов. Аналитические зависимости, используемые в настоящее время конструкторами трибосистем, не учитывают в своей структуре влияние на трение и износ ряда значащих факторов. Привлечение для решения задач надежности и долговечности методов подобия и анализа размерностей во многих случаях позволяет устранить эти ограничения и получить более корректные результаты. Ниже, для оценки ожидаемого ресурса пары трения, использована методология, изложенная в [1; 2; 3].

2. Целью статьи является органичное привлечение возможностей подобия при расчетах ресурса опор скольжения.

3. Разрешение проблемы. Положим, что критическая толщина слоя смазки (при гидродинамическом режиме трения) определяется металлическим контактом сопряженных поверхностей.

$$h_{кр} = R_{zv} + R_{zn} + y_0, \quad (1)$$

где R_{zv} – максимальная шероховатость поверхности шейки вала, мкм; R_{zn} – максимальная шероховатость поверхности подшипника, мкм; y_0 – максимальный прогиб вала в подшипнике (максимальная высота контурной площади контактирования), мкм.

Минимальная толщина слоя смазки, обеспечивающая гидродинамический режим трения, мкм

$$h_{min} \geq 1,1 \dots 1,2 h_{кр}. \quad (2)$$

Наивыгоднейший начальный (после приработки) зазор в сопряжении, исходя из условий гидродина-

мической смазки, и рационального режима охлаждения подшипника, мкм [4].

$$\delta_{наив} = 0,467D \frac{n \cdot \mu_a}{P \cdot 1 + \frac{D}{L}}, \quad (3)$$

где D – диаметр подшипника, мм; L – длина подшипника, мм; P – удельная нагрузка на проекцию подшипника, Н/м²; μ_a – абсолютная вязкость масла при атмосферном давлении и средней температуре подшипника, Н·с/м²; n – частота вращения вала, с⁻¹.

Исходя из зависимости (3), минимальная толщина слоя смазки, обеспечивающая гидродинамический режим трения, мкм:

$$h'_{min} = \frac{D^2 \cdot n \cdot \mu_a}{18,36 \cdot P \cdot \delta_{наив} \cdot 1 + \frac{D}{L}}. \quad (4)$$

При этом должно обеспечиваться условие – $h'_{min} \geq h_{min}$.

Максимально допустимый зазор из условия обеспечения жидкостного трения в сопряжении, мкм:

$$\delta_{макр} = \frac{\delta_{наив}^2}{4\delta'}, \quad (5)$$

где δ' – сумма высот неровностей и контурной площади приработанных поверхностей вала и подшипника, мкм;

Минимальная толщина масляного слоя, соответствующая $\delta_{макс}$, мкм

$$h''_{min} = \frac{D^2 \cdot n \cdot \mu}{18,36 \cdot P \cdot \delta_{макс} \cdot 1 + \frac{D}{L}}. \quad (6)$$

Величину h''_{min} сравнивают с h_{min} . Если h''_{min} меньше h_{min} , необходимо уменьшить величину $\delta_{макр}$ до достижения соотношения $h''_{min} > h_{min}$ при допустимом соотношении $h''_{min} / h_{min} = 1,1 \dots 1,2$.

Коэффициент нагруженности подшипника:

$$\xi = \frac{v \cdot p \cdot h_{\min}^{1/2}}{\mu_a \cdot \omega \cdot r^2} \cdot \frac{1}{1 - \chi^2}, \quad (7)$$

где v – линейная скорость скольжения, м/с; p – давление на подшипник, Н/м²; μ_a – абсолютная вязкость масла, Н·с/м²; ω – угловая скорость вала, рад/с; χ – относительный эксцентриситет положения вала в подшипнике в режиме жидкостного трения; r – радиус вала, м.

Сравнивая величину ξ с критерием Зоммерфельда S_0 для заданного отношения L/D определяют режим трения в сопряжении при зазоре $\delta_{\max}$: $\xi > |S_0|$

Скорость износа сопряжения v_t после приработки получают экспериментальным путем. Для ряда герметичных хладоновых компрессоров скорость износа подшипниковых сопряжений, мкм/тыс. ч.

Тогда значение ожидаемого ресурса сопряжения, тыс. ч:

$$v_t = 0,38 \cdot v \cdot \frac{v \cdot \gamma_M}{P}^{-0,25} \cdot \frac{HV}{P}^{-2,22} \cdot \frac{v \cdot R}{\mu}^{-2,19} \cdot \left(\frac{A_r}{A_a} \right)^{0,58} \cdot \left(\frac{\delta}{d} \right)^{1,56} \cdot \left(\frac{\tau}{t} \right)^{0,5} \cdot 3,6 \cdot 10^{12}, \quad (8)$$

где v – линейная скорость скольжения, м/с; γ_M – плотность масла, н/м³; P – давление на подшипник

Н/м²; μ – кинематическая вязкость масла, м²/с; HV – твердость поверхности вала, Н/м²; R – шероховатость поверхности вала, м; A_r/A_a – отношение фактической площади контакта к расчетной в сопряжении; δ/d – относительный зазор в сопряжении; δ – абсолютный зазор в сопряжении, мм; t – время изнашивания; τ – время работы сопряжения, равное единице.

Тогда значение ожидаемого ресурса сопряжения, тыс. ч.

$$\tau = \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{v_t}, \quad (9)$$

Показатели степени критериального уравнения (9) получены на основе статистической обработки экспериментальных данных износа нескольких герметичных компрессоров. Уравнение (9) можно использовать при расчете ресурса компрессоров, не имеющий отличий принципиального характера [2; 3].

4. Выводы. Приведен метод расчета ресурса опор скольжения, исходя из минимальной толщины масляной пленки, препятствующей возникновению металлического контакта поверхностей в гидродинамическом режиме, с привлечением аппарата теории подобия. На примере расчета ресурсов опор хладоновых герметичных компрессоров показана перспективность метода.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соловьев С. Н. Исследование износа методами теории подобия / С. Н. Соловьев, С. Н. Блиндер // Труды НКИ. – Вып. 60. Судовое кондиционирование. – 1972. – С. 77–88.
2. Соловьев С. Н. Методы расчета износа подшипниковых сопряжений малых поршневых холодильных компрессоров / С. Н. Соловьев, С. Н. Блиндер // Труды НКИ. – Вып. 79. Надежность, трение и смазка судовых машин. – 1974. – С. 63–75.
3. Соловьев С. Н. Прогнозирование надежности трибосистем, работающих в экстремальных условиях / С. Н. Соловьев // Журн. Проблемы трибологии. – 2003. – № 2. – С. 27–34.
4. Чернавский С. А. Подшипники скольжения / С. А. Чернавский. – М.: Машиностроение, 1973. – 231 с.

Рецензенты: **Тимошевський Б. Г.**, д.т.н, професор;

Шумілов А. П., к.т.н., професор.

© Соловйов С. М., Боду С. Ж., 2012

Дата надходження статті до редколегії 15.12.2012 р.

СОЛОВЙОВ Станіслав Миколайович – кандидат технічних наук, професор кафедри Технології суднового машинобудування, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.

Коло наукових інтересів: сучасні методи підвищення зносостійкості матеріалів.

БОДУ Світлана Жаковна – старший викладач кафедри технології суднового машинобудування, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.

Коло наукових інтересів: сучасні методи підвищення зносостійкості матеріалів.