

СРАВНЕНИЕ ЧИСЛЕННОЙ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИК РАСЧЕТА ОПОРНОГО ПОДШИПНИКА С ВНЕШНИМ НАДДУВОМ ГАЗА

Логинов В.Н., Космынин А.В., Широкова З.В., Медведовская Ю.В.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Комсомольск-на-Амуре, Россия (681013, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, 27), e-mail: vn1_1955@mail.ru

Приведены результаты расчетов эксплуатационных характеристик опорного бесконтактного частично пористого подшипника с внешним наддувом газа. Расчеты поля давления в зазоре подшипника и основных интегральных характеристик выполнены в рамках численной и аналитической методик, развитых в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете. Теоретические исследования проведены при работе опоры в режиме подвеса и в гибридном режиме работы. Сравнение эксплуатационных характеристик различных видов газовых опор с пористыми ограничителями расхода проведено в широком диапазоне изменения параметров моделей: относительного эксцентриситета, конструктивного параметра, относительного давления наддува, числа сжимаемости. Расчетные зависимости сравнивались между собой и сопоставлялись с экспериментальными данными. Установлено, что теоретические зависимости, определенные как в рамках аналитической, так и на основе численной методики, вполне удовлетворительно для инженерной практики согласуются с результатами экспериментальных исследований и между собой.

Ключевые слова: пористая среда, газовый подшипник, газовая смазка, несущая способность, конструктивный параметр, число сжимаемости.

COMPARISON OF NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS CALCULATION OF CHARACTERISTICS SUPPORT BEARING WITH EXTERNAL PRESSURIZATION GAS

Loginov V.N., Kosmyinin A.V., Shyrokov Z.V., Medvedovskaya Y.V.

Komsomolsk-na-Amure state technical university, Komsomolsk-on-Amur, Russia (681013, Komsomolsk-on-Amur, Lenin street, 27), e-mail: vn1_1955@mail.ru

The calculation results of the performance of the reference contact partially porous bearing with external pressurization gas. Calculation of the pressure field in the gap of the bearing and the main integral characteristics performed in the framework of the numerical and analytical techniques developed in Komsomolsk-na-Amure State Technical University. Theoretical studies were carried out at work bearing in suspension mode and in a hybrid mode. A comparison of the performance of different types of gas bearings with porous flow reducers conducted in a wide range of model parameters: the relative eccentricity, the structural parameter, the relative boost pressure, number of compressibility. Calculated dependences were compared with each other and compared with experimental data. Found that the theoretical curves are defined as in the analytical and numerical methods based entirely satisfactory for engineering practice in agreement with experimental results and with each other.

Keywords: the porous environment, the gas bearing, the gas greasing, bearing ability, structural parameter, number of compressibility.

Практика экспериментальных исследований опор на газовой смазке [1; 2] показывает на значительные материальные и, как следствие, финансовые затраты на их подготовку и проведение, что заметно ограничивает круг проведения опытов в широком диапазоне изменения конструктивных параметров подшипников. В связи с этим существенно возрастает роль теоретических исследований, базирующихся на разработке корректных, научно обоснованных методик расчета. Методики, основанные на использовании численных методов, дают вполне удовлетворительную для инженерной практики точность расчетов, что подтверждается их хорошим согласованием с опытными данными [3-7; 10]. Из-за необходимости принятия дополнительных допущений относительно течения газа в зазоре опоры аналитические

методики достаточной точностью не отличаются. Тем не менее в работах [8; 9] представлены аналитические методики определения интегральных характеристик газового подшипника, работающего в режиме подвеса и в гибридном режиме, расчет по которым на основе сопоставления с опытными данными показал весьма обнадеживающие результаты.

В настоящей работе приведено сравнение характеристик частично пористого газостатического подшипника, рассчитанных на использовании развитых в КнАГТУ численной [4] и аналитической [8; 9] методик. При этом там, где это возможно, теоретические характеристики сопоставляются с экспериментальными данными, полученными на испытательных стендах КнАГТУ.

Конструкция частично пористого подшипника с внешним наддувом газа приведена на рис. 1.

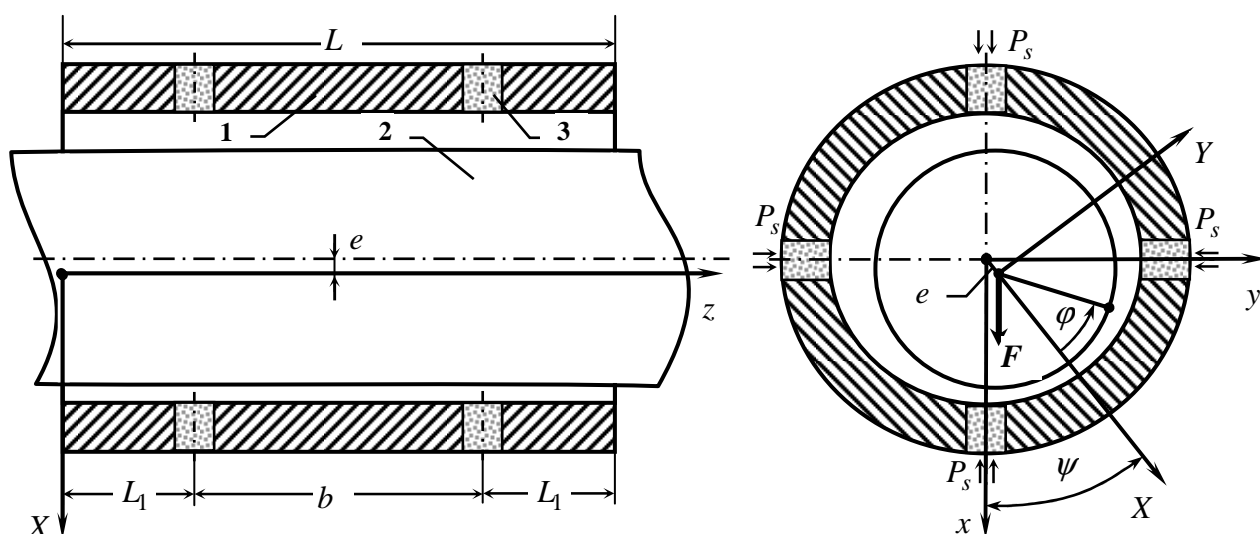


Рис. 1. Газостатический подшипник с двумя рядами пористых вставок:
1 – непроницаемая часть вкладыша подшипника; 2 – вал; 3 – пористая вставка

Исследованию подвергнуты двухрядные подшипники с шестью цилиндрическими пористыми вставками в каждом ряду наддува. Сравнение математических моделей проводилось по основной интегральной характеристике – коэффициенту несущей способности опоры

$C_Q = \frac{Q}{2RL(P_s - P_a)}$, где R – радиус вала, L – длина подшипника, P_a – атмосферное давление, P_s – абсолютное давление наддува, $Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}$ – несущая способность,

$Q_x = R \int_0^L \int_{-\pi}^{\pi} P(\varphi, z) \cos \varphi d\varphi dz$, $Q_y = R \int_0^L \int_{-\pi}^{\pi} P(\varphi, z) \sin \varphi d\varphi dz$.

После перехода к безразмерным величинам получаем, что коэффициент несущей способности является функцией шести основных параметров:

$$C_Q = f(\bar{p}_s, \varepsilon, \bar{L}, \bar{b}, K_c, \Lambda),$$

где $\bar{p}_s = P_a / P_s$ – относительное давление наддува, $\varepsilon = e / c$ – относительный эксцентриситет, c – средний зазор, $\bar{L} = L / D$ – удлинение подшипника, D – диаметр вала, $\bar{b} = b / L$ – относительная раздвижка линий наддува, $K_c = c \cdot \sqrt[3]{\ln(1 + \delta / R) / 12 k_p R}$ – конструктивный параметр, δ – высота вставок, k_p – коэффициент проницаемости, $\Lambda = 6\mu\omega R^2 / (P_s c^2)$ – число сжимаемости, ω – угловая скорость вращения вала, μ – коэффициент вязкости.

Зависимость коэффициента несущей способности подшипника C_Q от относительного эксцентриситета ε при неподвижном вале ($\Lambda = 0$) показана на рис. 2а; а при вращающемся вале ($\Lambda = 0,126$) – на рис. 2б. Значения остальных параметров: $\bar{p}_s = 0,167$, $\bar{L} = 1,2$, $\bar{b} = 0,5$, $K_c = 0,266$.

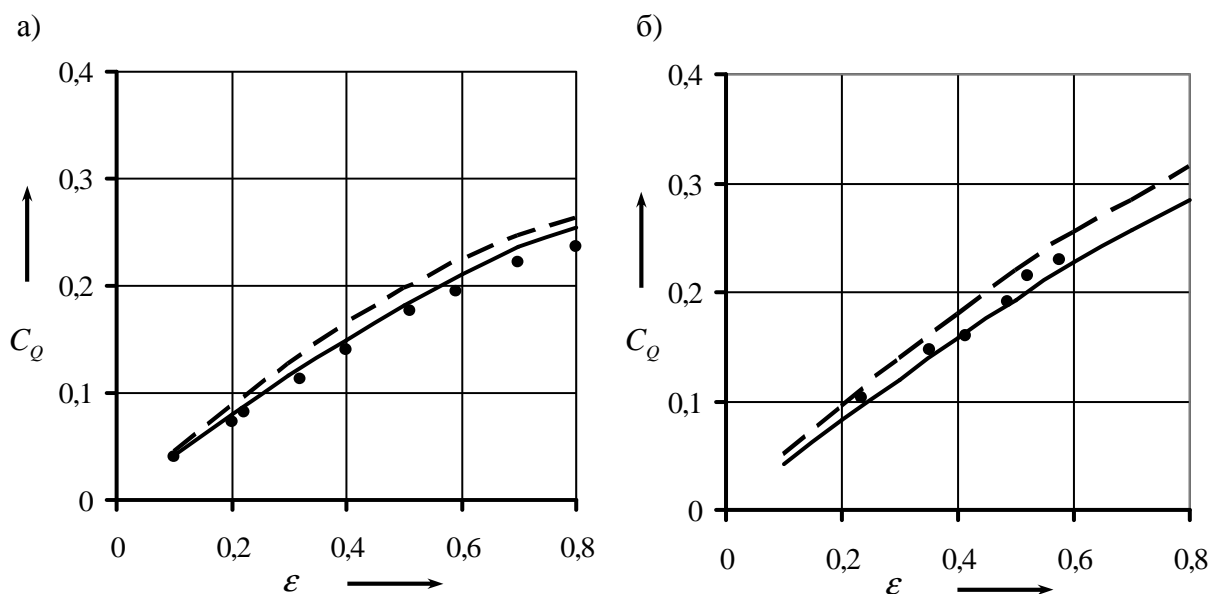


Рис. 2. Зависимость коэффициента несущей способности от эксцентриситета:
а) при неподвижном вале; б) при вращающемся вале;

————— – аналитическая модель; - - - - - численный метод;
• – эксперимент.

Видно, что при хорошем согласовании расчетных зависимостей с экспериментальными данными аналитическая модель обладает несколько большей точностью.

Зависимость коэффициента несущей способности подшипника C_Q от относительного эксцентриситета ε и конструктивного параметра K_c при неподвижном вале представлена на рис. 3 ($\bar{p}_s = 0,167$, $\bar{L} = 1,2$, $\bar{b} = 0,6$). Красным цветом изображены теоретические зависимости,

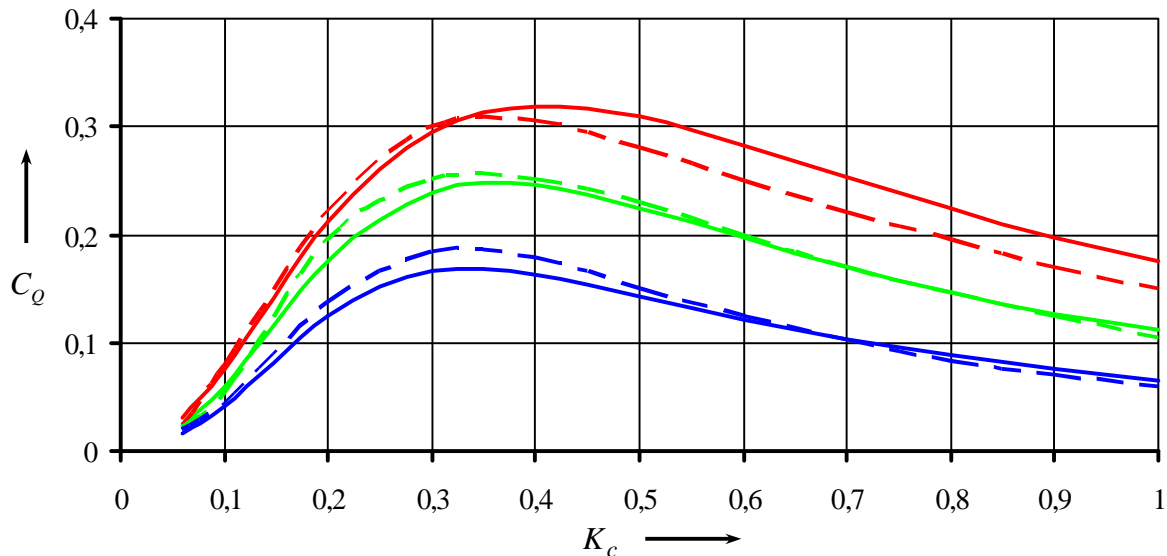


Рис. 3. Зависимость коэффициента несущей способности от конструктивного параметра
 — аналитическая модель; — численный метод.

полученные при относительном эксцентриситете $\varepsilon = 0,8$, зеленым — $\varepsilon = 0,6$, синим — $\varepsilon = 0,4$.

Из представленных графиков видно хорошее качественное и количественное согласование расчетов нагрузочных характеристик. Максимальное расхождение между значениями C_Q не превосходит 8%, что косвенно подтверждает адекватность аналитической модели.

Зависимость коэффициента несущей способности подшипника C_Q , работающего в гибридном режиме (при вращающемся вале), от относительного давления наддува \bar{p}_s и числа сжимаемости Λ приведена на рис. 4, на котором красным цветом изображены теоретические зависимости и экспериментальные точки, полученные при относительном давлении $\bar{p}_s = 0,459$, зеленым — $\bar{p}_s = 0,362$, синим — $\bar{p}_s = 0,253$. Расчеты выполнены при: $\bar{L} = 1,2$, $\bar{b} = 0,6$ и $K_c = 0,266$.

Анализ представленных характеристик показывает на тенденцию роста погрешности с ростом числа сжимаемости Λ . Вместе с этим относительная разность между значениями коэффициента несущей способности по-прежнему не превосходит 8%.

В целом сравнение эксплуатационных характеристик различных видов газовых опор с пористыми ограничителями расхода в широком диапазоне изменения режимных и конструк-

тивных параметров, рассчитанных с помощью численной и аналитической методик, показало на их вполне удовлетворительное качественное и количественное согласование.

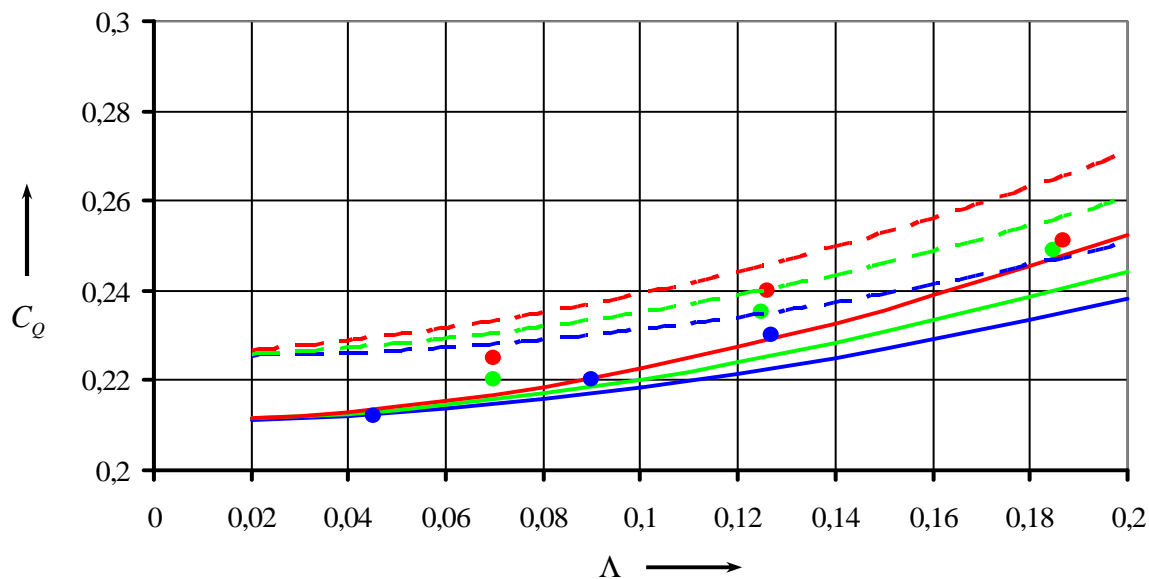


Рис. 4. Зависимость коэффициента несущей способности от числа сжимаемости
— — — — — аналитическая модель; — — — — — численный метод;
• — эксперимент.

Список литературы

1. Космынин А.В., Щетинин В.С. Эксплуатационные показатели высокоскоростных шпиндельных узлов металлообрабатывающего оборудования с газомангнитными опорами // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 11. – С. 69-70.
2. Космынин А.В., Щетинин В.С., Иванова Н.А., Хвостиков А.С., Блинков С.С. Стенд для исследования выходных характеристик шпиндельного узла на газомангнитных опорах // СТИН. – 2010. – № 5. – С. 8-10.
3. Космынин А.В., Шаломов В.И., Суходоев И.Г., Виноградов С.В. О результатах экспериментальной проверки расчётных характеристик высокоскоростных шпиндельных узлов металлорежущих станков с частично пористыми газостатическими опорами // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 1. – С. 32-33.
4. Космынин А.В., Чернобай С.П., Виноградов С.В. Расчет частично пористых газовых подшипников высокоскоростных шпиндельных узлов // Автоматизация и современные технологии. – 2008. – № 10. – С. 8-12.
5. Космынин А.В., Шаломов В.И. Аэростатические шпиндельные опоры с частично пористой стенкой вкладыша // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – № 2. – С. 69-69.

6. Космынин А.В., Щетинин В.С. Расчет несущей способности газоманитных опор высокоскоростных шпиндельных узлов // СТИН. – 2010. – № 9. – С. 6-8.
7. Космынин А.В., Щетинин В.С., Иванова Н.А. Методика расчета несущей способности газоманитного подшипника высокоскоростного шпиндельного узла // Вестник Самарского ГТУ. – 2010. – № 4. – С. 226-229.
8. Логинов В.Н., Космынин А.В., Широкова З.В. Аналитическое решение задачи определения характеристик цилиндрического газового подшипника // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 121-121.
9. Логинов В.Н., Космынин А.В., Широкова З.В., Медведовская Ю.В. Математическая модель опорного газового подшипника, работающего в гибридном режиме // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 79-79.
10. Щетинин В.С., Космынин А.В. Математическая модель расчета несущей способности высокоскоростного шпиндельного узла на газоманитной опоре // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – № 8. – С. 31-35.

Рецензенты:

Феоктистов С.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология самолетостроения» ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», г. Комсомольск-на-Амуре.

Биленко С.В., д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», г. Комсомольск-на-Амуре.