

Смирнов А.В., Суходоев И.Г.

A.V.Smirnov, I.G.Sukhodoev

05.08.05

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

STUDY OF OPERATIONAL PERFORMANCE OF GAS-STATIC BEARINGS IN HIGH-SPEED SPINDLE ASSEMBLIES



Смирнов Алексей Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки» ГОУВПО «КНАГТУ». E-mail: faks@knastu.ru.

Alexey V. Smirnov — PhD in Engineering, Associate

Professor at the Department of Heat&Power Plants, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: faks@knastu.ru.



Суходоев Иван Георгиевич — ассистент кафедры «Тепловые энергетические установки» ГОУВПО «КНАГТУ». E-mail: faks@knastu.ru.

Ivan G. Sukhodoev — Assistant Lecturer at the Department of

Heat&Power Plants, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: faks@knastu.ru.

Аннотация: Проанализированы преимущества и недостатки использования различных типов подшипников в составе высокоскоростных шпиндельных узлов. Исследовано влияние размещения пористых вставок на эксплуатационные характеристики частично пористых газостатических опор подшипников.

Summary: The paper analyzes the advantages and limitations of different types of bearings within a high-speed spindle unit. The effect of using porous insertions upon operational performance of partially porous gas-static bearing seats was studied.

Ключевые слова: Шпиндельный узел, газостатический подшипник, эксплуатационные характеристики.

Keywords: spindle unit, gas-static bearing, operational performance.

Современный уровень требований к точности, быстроходности и долговечности шпиндельных узлов (ШУ) характеризуется следующими общими показателями: погрешность вращения менее 0,5 мкм; долговечность более 5000 ч; быстроходность более 5·10⁵ мм·мин⁻¹.

Достижение таких высоких показателей при шлифовании изделий на металлообрабатывающих станках с использованием шпиндельных узлов на опорах качения осложняется сравнительно малой окружной скоростью резания, что вынуждает прибегать к сильному прижатию круга. Это приводит к изгибу оправ-

ки, искажению геометрии изделия и к снижению качества шлифуемой поверхности.

Не решают проблемы и так называемые гибридные подшипники качения. Это подшипники, в которых в качестве тел качения используются керамические шарики, а кольца сепаратора изготовлены из стали. Опыт эксплуатации таких опор в высокоскоростных ШУ свидетельствует о снижении потерь на трение с одновременной невысокой надежностью сепараторов подшипников, что связано со свойствами применяемых сталей для их изготовления.

Находят применение в качестве опор для ШУ и подшипники на жидкой смазке. Вместе с тем, несмотря на принимаемые прогрессивные технические решения по совершенствованию способов и систем смазки, ШУ с гидростатическими подшипниками имеют ограничения по частоте вращения и усложнённые конструкции опорного узла.

В международной практике известен опыт применения магнитных опор в ШУ металлорежущих станков. Работа магнитного подшипника основана на известном принципе активного магнитного подвеса ферромагнитного тела — стабилизация тела в заданном положении осуществляется силами магнитного притяжения, действующими на тело со стороны управляемых электромагнитов. Однако до настоящего времени применение их затруднено из-за сложности конструкции подшипникового узла и схемы управления.

Внедрение в конструкцию ШУ подшипников на газовой смазке позволяет повысить жесткость и массу

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

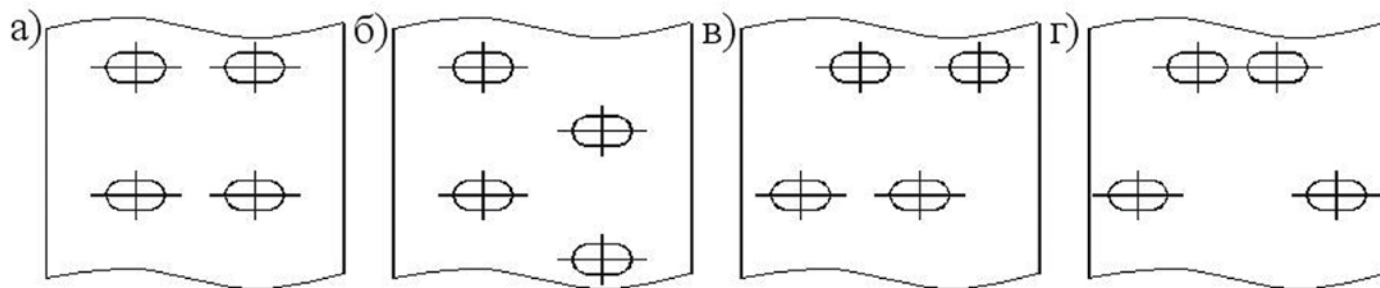


Рис.1. Варианты расположения пористых вставок во вкладыше подшипника

а — симметричное расположение рядов наддува; б — шахматное смещение; в — асимметричное смещение вдоль направляющей вкладыша; г — симметричное смещение вдоль направляющей вкладыша

шпинделя путем увеличения диаметра рабочих шеек при одновременном повышении окружной скорости шлифовального круга. Последнее позволяет шлифовать изделия с большими подачами, что приводит к повышению производительности труда, улучшению качества шлифования и уменьшению чувствительности, к дисбалансу оправки и круга, так как их масса заметно меньше массы шпинделя.

Выполненные в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете исследо-

вания показали, что среди известных конструкций газостатических опор лучшими характеристиками обладают подшипники с частично пористой стенкой вкладыша.

Частичная пористость стенок вкладыша подшипника достигается размещением в непроницаемом теле вкладыша пористых вставок. При этом форма вставок и их размещение могут быть различными, что, в свою очередь, влияет на эксплуатационные характеристики газовой опоры.

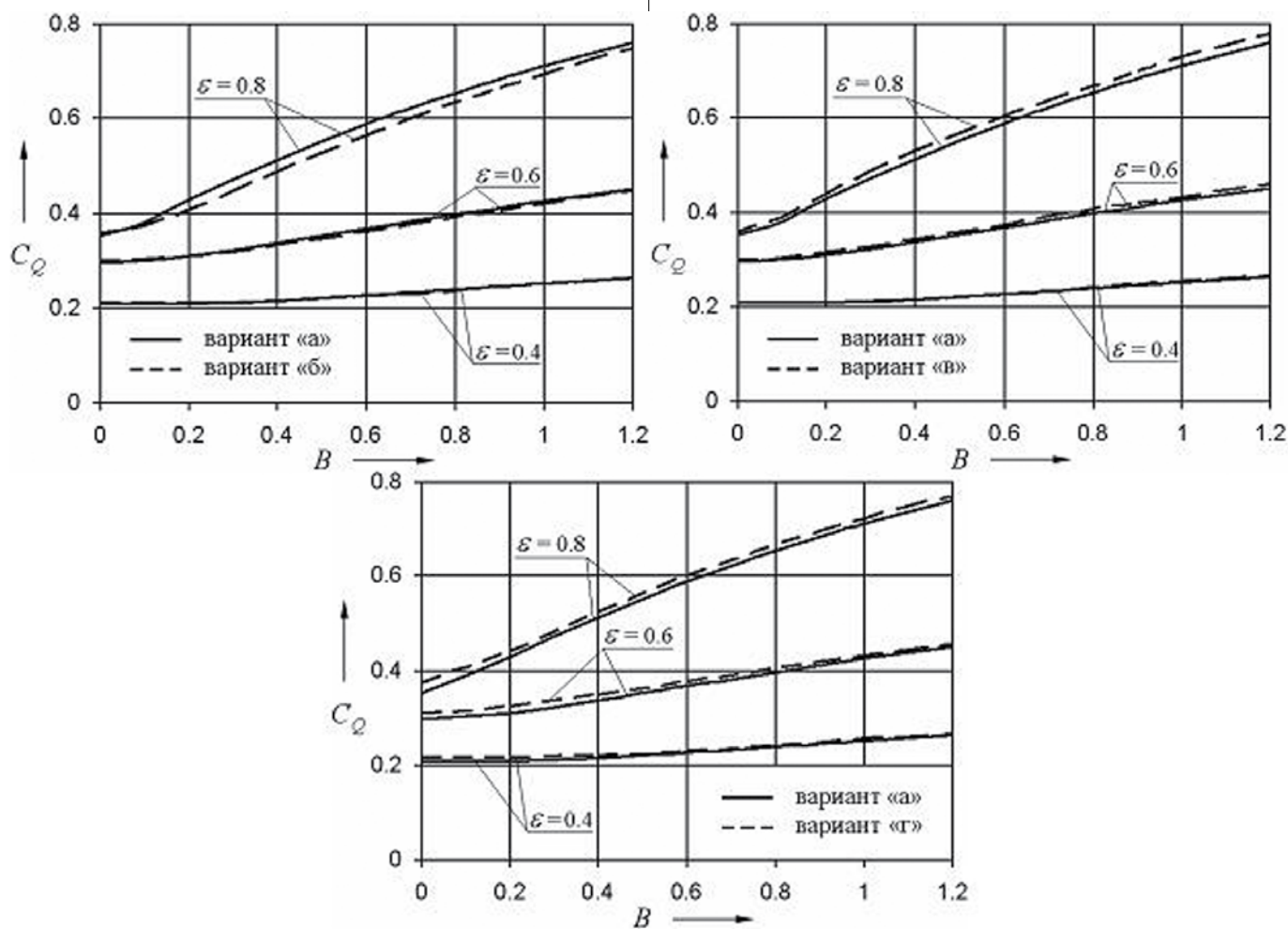


Рис. 2. Зависимость коэффициента несущей способности C_Q от числа сжимаемости B и относительного эксцентриситета ϵ

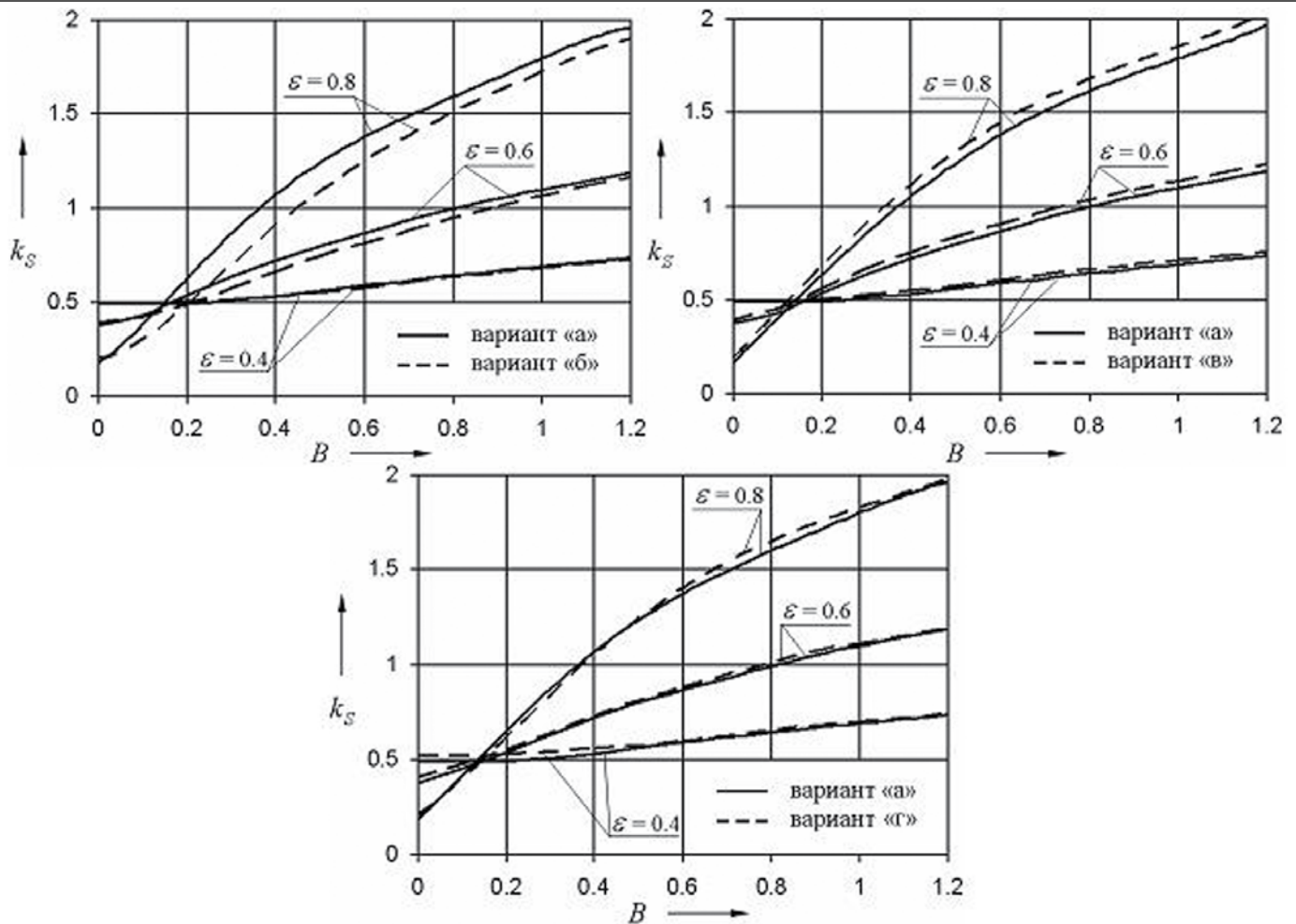


Рис. 3. Зависимость коэффициента жесткости k_s от числа сжимаемости B и относительного эксцентриситета ϵ

В настоящей работе анализируются результаты исследований эксплуатационных характеристик газовых опор в зависимости от различных способов размещения вставок во вкладыше подшипника (рис. 1).

При этом во всех вариантах используется двухрядное размещение вставок, а сама вставка имеет форму шпонки.

Расчет эксплуатационных характеристик подшипника выполнен при следующих исходных данных: относительное давление газа $\bar{p}_g = p/p_s = 1.6$; относительная длина подшипника $\bar{L} = L/D = 1.2$; относительная длина пористой вставки $\bar{a} = a/L = 0.2$; относительная раздвижка линий наддува $\bar{b} = b/L = 0.4$; количество вставок $N_{вст} = 6$. Здесь p — атмосферное давление; p_s — давление наддува; L — длина подшипника; D — диаметр подшипника; a — длина пористой вставки; b — раздвижка линий наддува.

Ниже представлены результаты расчета эксплуатационных характеристик газовой опоры (коэффициента несущей способности C_Q , коэффициента жесткости смазочного слоя k_s , угла положения нагрузки ψ) в зависимости от числа сжимаемости B (безразмерной частоты вращения вала) при различных значениях относительного эксцентриситета $\epsilon = e/c$ (e — абсолютный эксцентриситет, c — сред-

ний радиальный зазор).

Симметричный вариант расположения вставок (см. рис. 1, а) принят за основной, и поэтому на всех графиках он сравнивается с остальными вариантами.

Зависимость коэффициента несущей способности C_Q от числа сжимаемости B и относительного эксцентриситета ϵ представлена на рис. 2.

Из представленных графиков видно, что с увеличением относительного эксцентриситета и числа сжимаемости коэффициент несущей способности частично пористых опор заметно растет. Это объясняется существенным влиянием на структуру течения смазки эффекта смазочного клина, который начинает преобладать над внешним наддувом газа. Расчеты также показывают на незначительное отличие нагрузочных характеристик опор с различным расположением пористых вставок.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента жесткости k_s от числа сжимаемости и относительного эксцентриситета ϵ .

Представленные графики демонстрируют повышение коэффициента жесткости смазочного слоя с увеличением относительного эксцентриситета и числа сжимаемости, что наглядно говорит о воз-

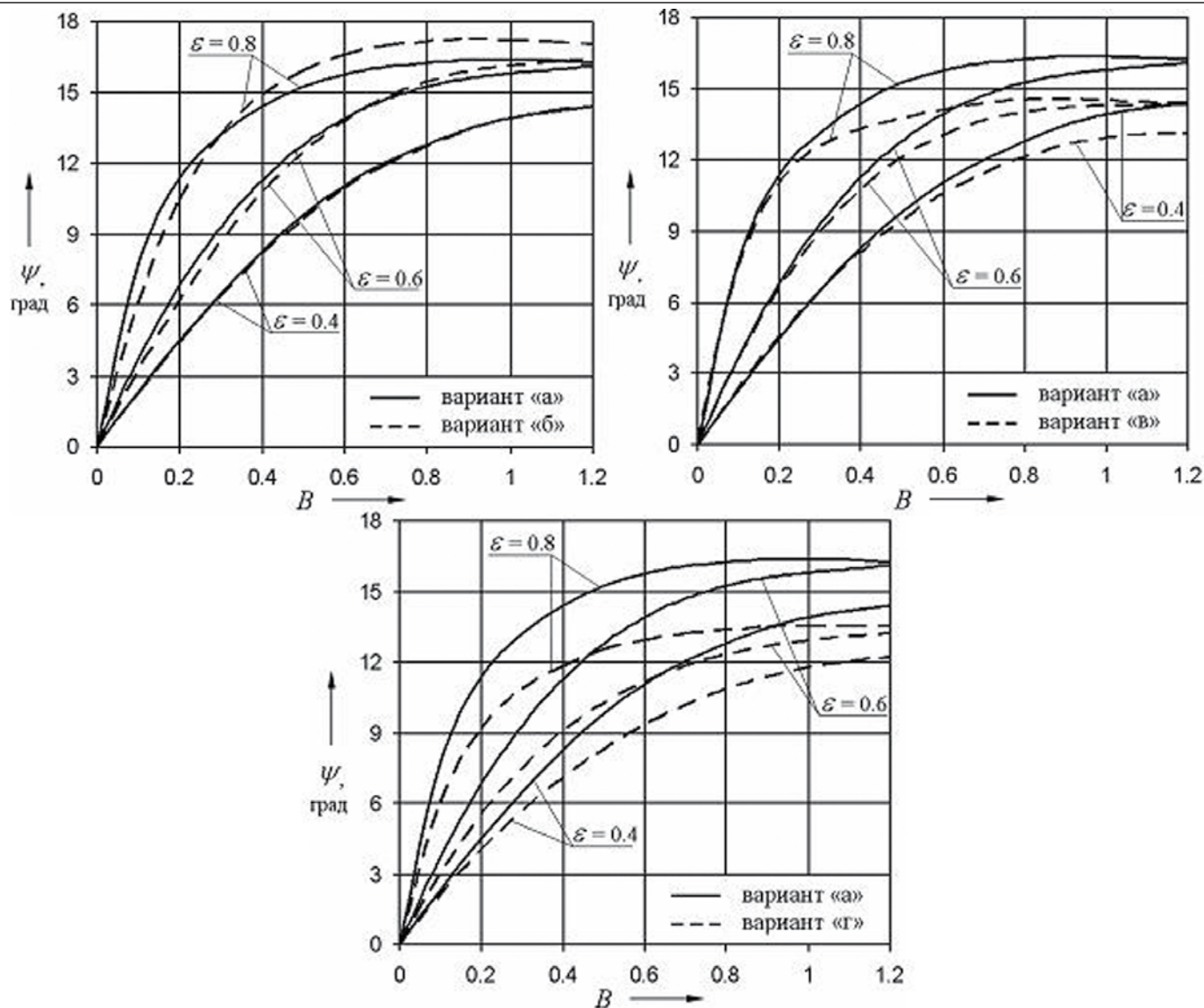


Рис. 4. Зависимость угла положения нагрузки ψ от числа сжимаемости B и относительного эксцентриситета ε

растающем влиянии эффекта смазочного клина. При этом существенной разницы в коэффициенте жесткости различных вариантов газовых опор нет.

Зависимость угла положения нагрузки ψ (смещение вала от равновесного положения) от числа сжимаемости B и относительного эксцентриситета ε представлена на рис. 4.

Из представленных графиков видно, что при малых числах сжимаемости B угол положения нагрузки ψ интенсивно увеличивается. Дальнейший рост числа сжимаемости B сопровождается незначительным изменением угла положения нагрузки.

Полученный результат объясняется сменой преобладающего влияния на характеристики опор внешнего наддува газа и вращения вала. Так, при увеличении ψ преобладает внешний наддув, а при стабилизации значения ψ доминирующее влияние оказывает вращение вала. С возрастанием ε влияние вращения усиливается и поэтому максимальное значение угла ψ достигается при меньших значениях B .

Заметим, что при доминирующем влиянии враще-

ния настоящими расчетами получен хорошо известный из теории газовой смазки результат уменьшения угла ориентации нагрузки с ростом относительного эксцентриситета.

Из представленных графиков видно, что наиболее благоприятным, с точки зрения устойчивой работы, является расположение вставок варианта «г».

В результате выполненного анализа эксплуатационных характеристик газостатических опор можно сделать следующие выводы.

Изменение положения вставок во вкладыше не приводит к существенному изменению эксплуатационных характеристик газовой опоры. Вместе с тем, изменение положения вставок по сравнению с основным вариантом ведет к усложнению технологии изготовления газовой опоры. Поэтому наиболее целесообразным следует считать применение в частично пористой газовой опоре симметричного расположения вставок.