

УДК 621.822.187

Е.Ф. ПАРОВАЙ, Ф.В. ПАРОВАЙ

Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Россия

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДШИПНИК С УПРУГИМ ПОДВЕСОМ ВКЛАДЫШЕЙ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

В статье описана конструкция сегментного гидродинамического подшипника свободной турбины двигателя для газоперекачки. Особенностью данного подшипника является упругий подвес вкладышей из пористого материала МР. Материал МР успешно используется во фторопластовых подшипниках и упруго-демпфирующих опорах. Наличие упругого подвеса в конструкции подшипника нового типа позволяет вкладышам проворачиваться в радиальном направлении, изменяя тем самым характеристики подшипника автоподстройкой упруго-демпфирующих свойств подвеса из МР. В работе так же представлены результаты исследования влияния угла поворота вкладышей на характеристики рабочего процесса.

**Ключевые слова:** гидродинамический подшипник, вкладыши, материал МР, угол поворота вкладышей, характеристики рабочего процесса, упругий подвес.

## Введение

Гидродинамический подшипник с расточкой вкладышей в радиус вала способен воспринимать высокие нагрузки и устойчиво работать на больших частотах вращения ротора. Сотрудниками отраслевой научно-исследовательской лаборатории "Вибрационная прочность и надёжность авиационных изделий" - ОНИЛ-1 СГАУ - (Е.Ф. Паровай, Ф.В. Паровай) была предложен вариант конструкции гидродинамического сегментного подшипника с упругим подвесом вкладышей из пористого материала металлорезина (МР). Материал упругого подвеса позволяет поворачиваться вкладышам в ради-

альном направлении во время работы подшипника и занимать оптимальное рабочее положение. Слой материала МР сминается под действием нагрузки, возникающей в подшипнике, обеспечивая поворот вкладышей.

На рис. 1 представлена схема работы подшипника с упругим подвесом вкладышей. В исходном положении (рис. 1а) величины зазора на выходе и входе смазки одинаковы ( $\Delta = 0$ ). При раскрутке вала начинается реализовываться характерный вид эпюры давлений [1], возникшая сила давит на вкладыш подшипника, от возникающих в зазоре нагрузок материал упругого подвеса деформируется, вызывая поворот вкладыша на угол  $\delta_v$  (рис. 1 б).

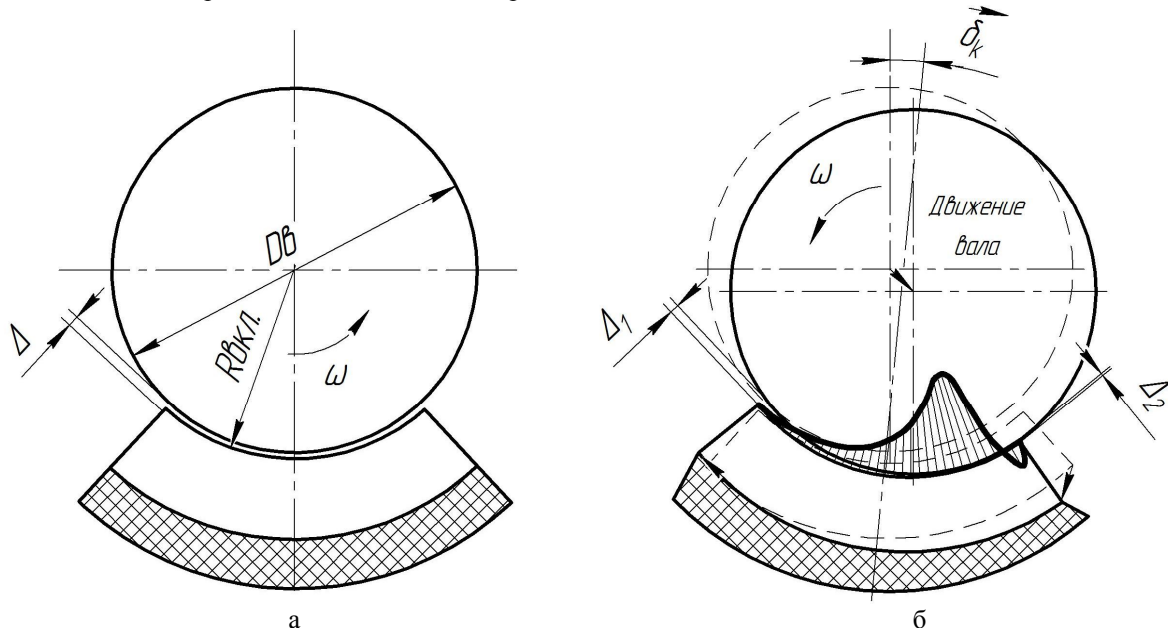


Рис. 1. Схема работы подшипника:

а – исходное положение; б – наполненная эпюра давлений при рабочем положении вкладышей

Совместно со смятием подложки из материала МР происходит движение вала ("всплытие"), чем достигается геометрия сужающегося зазора. Таким образом осуществляется автоматическая подстройка упруго-демпфирующих свойств МР при смене эксплуатационных нагрузок [2].

Идея применения упруго-пористого материала МР в конструкции подшипников не является инновационной. В трехслойном фторопластовом подшипнике скольжения конструкции А.М. Сойфера и Ю.И. Байбородова (СГАУ) использовалась эластичная подложка из материала МР [3]. Данный подшипник так же предназначен для высоконагруженных роторов турбомашин. На рис. 2 показана конструкция фторопластового подшипника: стальной жесткий корпус 1, упругий промежуточный слой из спрессованных спиралей 2 (МР), слой фторопласта 3.

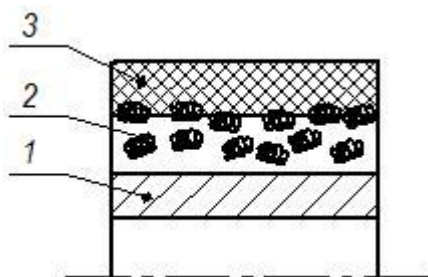


Рис. 2. Фторопластовый подшипник с эластичной подложкой из материала МР

Податливость и глубина проникновения фторопласта между спиральями регулируются за счёт выбора диаметров проволоки, проволоочной спирали, её шага и пористости спрессованного эластичного слоя. Отличительной особенностью гидродинамического подшипника, описываемого в данной статье, от фторопластового подшипника (рис. 2) являются недеформируемые вкладыши, осуществляющие свой поворот за счёт деформации упруго-пористого материала подвеса.

Пример конструкции упруго-демпфирующей опоры для подшипника с использованием радиальных вкладышей из материала МР, показан на рис.3. В расчетной модели упруго-деформационная характеристика материала МР задается функцией, связывающей давление с относительной деформацией [4]:

$$q = \frac{\bar{A} \cdot E \varepsilon}{1 - a \varepsilon}, \quad (1)$$

где  $q$  – удельное давление на поверхности вкладыша из материала МР (МПа);

$E$  – модуль упругости проволоки, из которой изготовлен материал МР (МПа);

$\varepsilon$  – относительная деформация упругого вкладыша из материала МР;

$\bar{A}$ ,  $a$  – безразмерные параметры деформационной характеристики, определяемые, соответственно, жесткостью и упругостью материала МР и зависящие от ряда конструктивных и технологических факторов, таких как параметры спирали (диаметр проволоки и относительный диаметр спирали), шаг спирали, плотность материала и др.



Рис. 3. Упруго-демпфирующая опора

Из опыта практического применения материала МР для упругих вкладышей подшипниковых узлов может использоваться проволока из сплава ЭИ-708А-ВИ ТУ14-1-1597-75 или стали 12Х18Н10Т по ТУ 2-2003- диаметром 0,15...0,2 мм, с относительным диаметром спирали (отношением диаметров спирали и проволоки) 10, относительной плотностью (отношением плотности материала МР к плотности материала проволоки) 0,35...0,4.

### Определение зависимости характеристик потока смазки от угла поворота рабочего вкладыша подшипника скольжения

Целью расчета являлось определение вида зависимости характеристик течения смазки в рабочем зазоре от угла поворота вкладышей.

Расчетная модель представляет из себя 3D CAE модель зазора между рабочим вкладышем подшипника и вращающимся валом, созданную с помощью NX, ICEM CFD, ANSYS APDL, ANSYS CFX в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Для расчета использовались модели рабочего зазора нагруженного вкладыша исследуемого подшипника, так как именно в нём возникают макси-

мальные давления. Вид искомой зависимости был получен в результате предварительных расчетов. В виду особенностей конструкции упругого подвеса поворот вкладышей в подшипнике будет осуществляться не относительно точечного или линейного шарнира, а в зависимости от направления равнодействующей сил, возникающих в рабочем зазоре подшипника. В процессе определения зависимости характеристик течения смазки в зазоре подшипника от значения угла поворота вкладыша были рассчитаны несколько моделей зазора при различных углах  $\delta_k$  (таблица 1).

В результате расчетов модели рабочего зазора были получены зависимости распределений полного и статического давления смазки от величины угла поворота рабочего вкладыша  $\delta_k$ .

Таблица 1

Величины угла поворота вкладышей в моделях для определения зависимостей  $p, p^*(\delta_k)$

Положительные $\delta_k$	Нулевой и отрицательный $\delta_k$
0,00475 (для $\Delta_1 = 15$ мкм, $\Delta_2 = 10$ мкм)	0 (для $\Delta_1 =$ $= \Delta_2 = 10$ мкм)
0,0095 (для $\Delta_1 = 20$ мкм, $\Delta_2 = 10$ мкм)	- 0,00475 (для $\Delta_1 = 10$ мкм, $\Delta_2 = 15$ мкм)
0,01425 (для $\Delta_1 = 25$ мкм, $\Delta_2 = 10$ мкм)	
0,0191 (для $\Delta_1 = 35$ мкм, $\Delta_2 = 10$ мкм)	

Распределение статического давления по зазору подшипника при  $\delta_k = 0,00191^\circ$  показано на рис. 4,

для всех положительных углов поворота сохраняется "пиковый" вид зависимости. Для небольших отрицательных углов, в частности, для  $\delta_k = - 0,00475^\circ$  характер распределения давления утрачивает "пиковый" вид, вид зависимости при дальнейшем уменьшении угла стремится к линейному. Это связано с формированием "пиковой" эпоры давлений в зазорах различной геометрии, когда в сужающемся зазоре реализуется максимум давлений, сносящийся потоком в направлении вращения подвижной стенки, в равномерном или расширяющемся зазоре "пик" давления не проявляется.

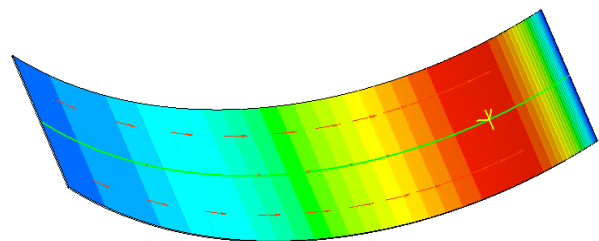


Рис. 4. Распределение давления для  $\delta_k = 0,00191^\circ$

На рис. 5 представлены графики распределения статического давления по длине рабочего зазора подшипника, показано влияние угла поворота на характер распределения. С увеличением угла поворота вкладыша отношение величины зазора на выходе ( $\Delta_2$ ) к величине зазора на входе ( $\Delta_1$ ) увеличивается, при этом повышается величина максимума давления в зазоре (т.е. характер распределения давления становится более "пиковым"), координата которого смещается в сторону  $\Delta_2$  (в направлении вращения вала).

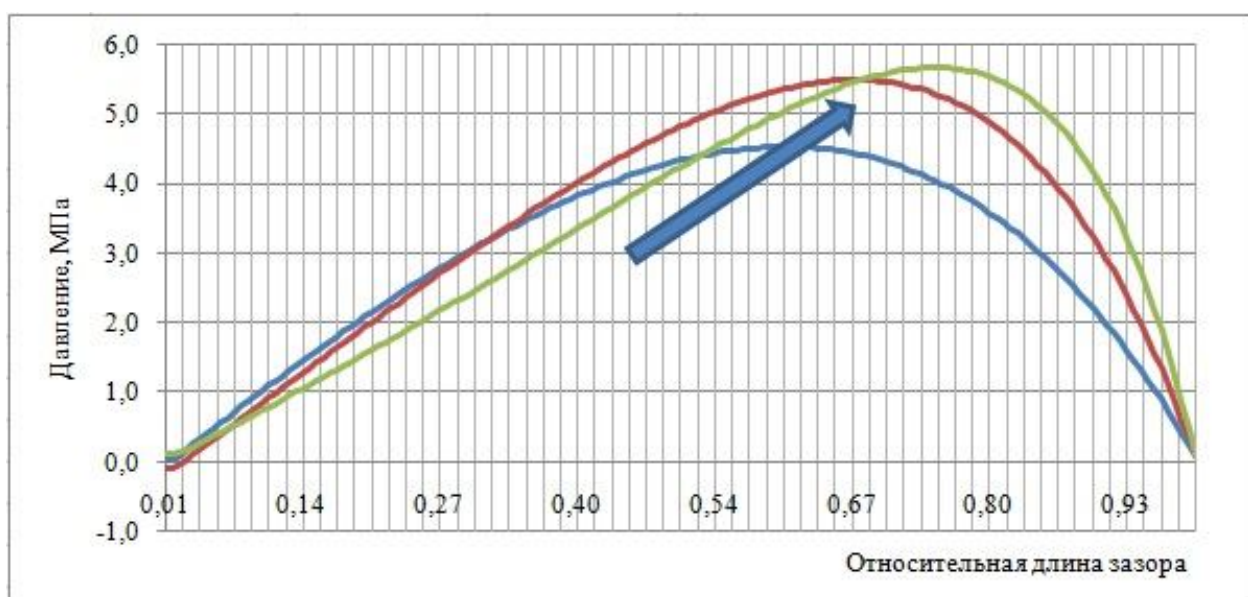


Рис. 5. Зависимость распределения давления от угла поворота вкладыша

В результате обработки рассчитанных величин давлений были получены зависимости координаты точки максимума (рис. 6). Согласно рис. 6 график максимума давлений бесконечно приближается к максимальной величине давлений, превысить которую с данными конструкцией рабочего зазора и эксплуатационными характеристиками невозможно.

На рис. 7 представлен график зависимости результирующей силы от угла  $\delta_v$ .

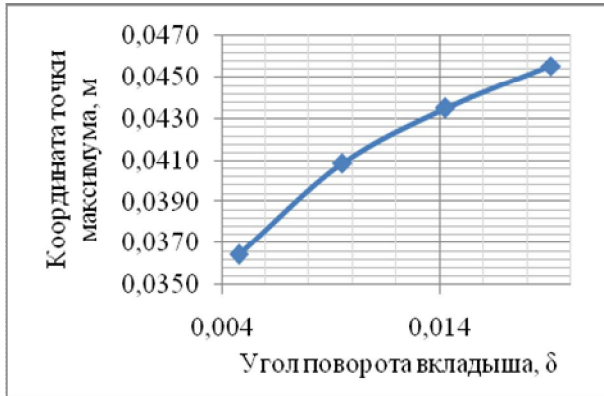


Рис. 6. Зависимость координаты максимума давлений от угла поворота вкладыша

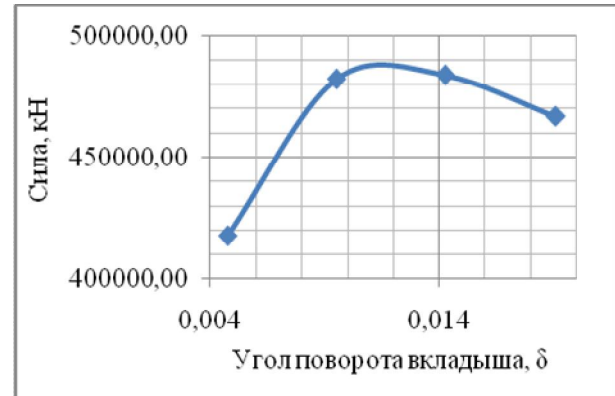


Рис. 7. Влияние угла поворота вкладыша на результирующую силу

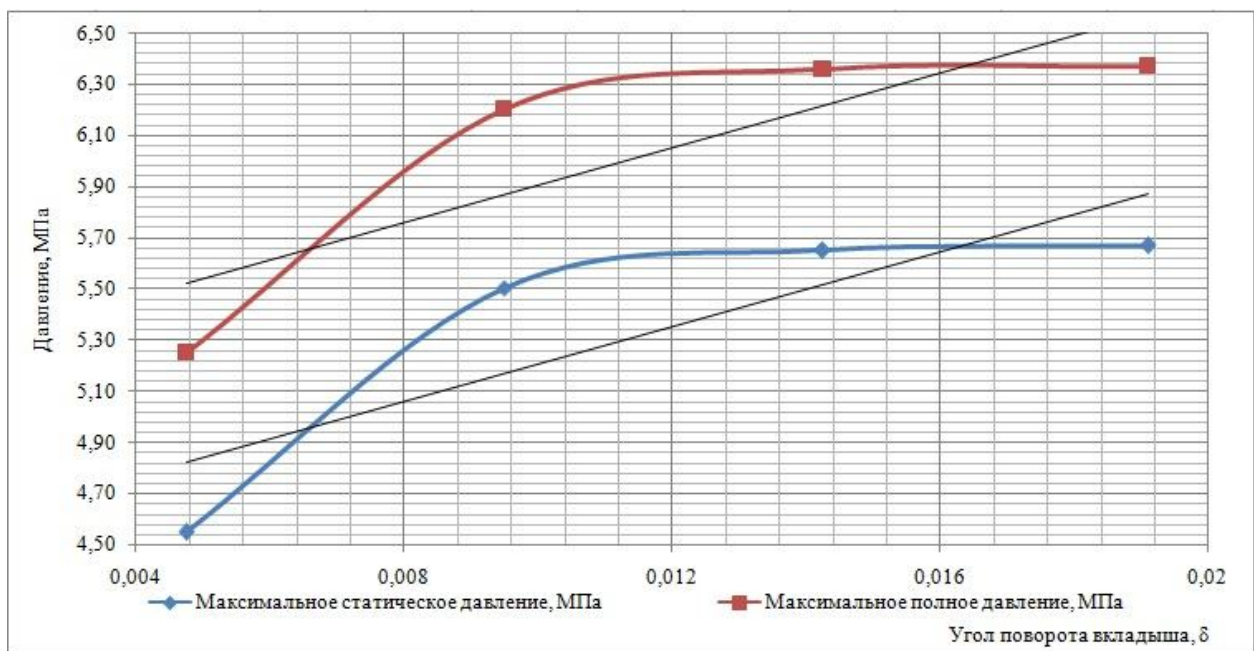


Рис. 8. Влияние угла поворота вкладыша на характер распределения давления по длине зазора

## Выводы

1. Создаваемый подшипник - эффективное решение для высоконагруженных высокочастотных роторов с большой динамической устойчивостью, требующих большого ресурса подшипника.

2. Упругий подвес из материала МР производит автоматическую подстройку упругодемпфирующих свойств МР при смене эксплуатационных нагрузок в подшипнике. Отличительной

особенностью предложенной конструкции от конструкции фторопластовых подшипников является наличие жестких вкладышей, меняющих угол своего расположения в зависимости от деформации упругого подвеса.

3. При проектировании подшипников предложенной конструкции следует искать параметры геометрии и эксплуатационных режимов, соответствующих оптимальному углу поворота вкладышей  $\delta_{v, \text{опт}}$  для восприятия максимальной результирующей



щей силы подшипника (для проектирования подшипника максимальной несущей способности).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.*

### Литература

1. Гордеев, В.Б. Сегментные гидродинамические подшипники скольжения сухого картера с расточкой вкладышей в радиус вала и упругим замыканием рабочего зазора [Текст] / В.Б. Гордеев: техн. отчёт № ТО-44-К-2007. – Самара: ОАО СКБМ, 2007. – 21 с.

2. Воскресенский, В.А. Расчет и проектирование опор жидкостного трения [Текст]: справ. / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков, А.З. Зиле. – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с.

3. Чегодаев, Д.Е. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругопористого материала МР [Текст]: учеб. пособие: В 2 ч. / Д.Е. Чегодаев, О.П. Мулюкин, Е.В. Колтыгин. – Самара: НПЦ "Авиатор", 1994. – 180 с.

4. Борисов, В.А. Деформационные характеристики упругих элементов из проволочного материала МР при сжатии [Текст] / В.А. Борисов, Ф.В. Паровой // Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе: докл. Междунар. науч.-техн. конф. – Самара: СГАУ, 1997. – С. 8-11.

*Поступила в редакцию 25.05.2013, рассмотрена на редколлегии 13.06.2013*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. кафедры производства двигателей летательных аппаратов Н.Д. Проничев, Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Россия.

### ГІДРОДИНАМІЧНИЙ ПІДШИПНИК З ПРУЖНИМИ ПІДВІСОМ ВКЛАДИШІВ З МАТЕРІАЛУ МР

*О.Ф. Паровой, Ф.В. Паровой*

У статті описана конструкція сегментного гідродинамічного підшипника вільної турбіни двигуна для газоперекачування. Особливістю даного підшипника є пружний підвіс вкладишів з пористого матеріалу МР. Матеріал МР успішно використовується у фторопластових підшипниках і пружно-демпфіруючих опорах. Наявність пружного підвісу в конструкції підшипника нового типу дозволяє колодкам провертатися в радіальному напрямку, змінюючи тим самим характеристики підшипника автоматичним підстроюванням пружно-демпфіруючих властивостей підвісу з МР. У роботі також представлено результати дослідження впливу кута повороту вкладишів на характеристики робочого процесу.

**Ключові слова:** гідродинамічний підшипник, вкладиш, матеріал МР, кут повороту вкладишів, характеристики робочого процесу, пружний підвіс

### HYDRODYNAMIC BEARING WITH MR ELASTIC SUSPENSION OF SEGMENTS

*Ye.F. Parovay, F.V. Parovay*

The paper describes the design of a hydrodynamic segment bearing placed in free turbine of gas pumping engine. A feature of this bearings is elastic suspension pads made of porous material MR. MR material has been successfully used in fluoroplastic bearings and elastic-damping supports. The presence of elastic suspension in the design of new type bearing can rotate pads in the radial direction, thus changing the characteristics of the bearing by automatic adjustment of MR suspension's elastic-damping properties. The paper also presents the results of investigation of the pads' rotation angle influence on the performance of the workflow.

**Key words:** hydrodynamic bearing, the insert (segment), MR material, rotation angle of inserts, workflow characteristics, resilient suspension.

**Паровой Елена Фёдоровна** – инженер отраслевой научно-исследовательской лаборатории "Вибрационная прочность и надёжность авиационных изделий" Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королёва (национального исследовательского университета), Самара, Россия, e-mail: selena\_pa@mail.ru.

**Паровой Федор Васильевич** - канд. техн. наук, доцент, главный инженер отраслевой научно-исследовательской лаборатории "Вибрационная прочность и надёжность авиационных изделий" Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королёва (национального исследовательского университета), Самара, Россия, e-mail: parovai@mail.ru.