

УДК 621.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАДИАЛЬНО-УПОРНОГО АВИАЦИОННОГО ПОДШИПНИКА

© 2011 В.Б. Балякин, Е.П. Жильников, Б.Б. Косенок, И.С. Барманов, Д.С. Лёжин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 06.10.2010

В статье приводятся результаты экспериментального определения перемещения внутреннего кольца радиально-упорного подшипника относительно наружного при различных сочетаниях радиальной и осевой нагрузок для нескольких скоростей вращения.

Ключевые слова: радиально-упорный подшипник, экспериментальные исследования, радиальная сила, осевая нагрузка, радиальное перемещение.

При проектировании роторной системы авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) для выявления критических частот необходимо уметь вычислять жёсткость опор роторов. Авторами разработана численная методика [1] и вычислительная программа определения жёсткости шариковых радиально-упорных авиационных подшипников.

Для подтверждения её достоверности необходим физический эксперимент. В связи с этим была разработана методика и программа экспериментальных исследований динамики радиально-упорных подшипников.

Экспериментальный стенд, используемый в ООО «Газпром трансгаз Самара» для испытания газодинамических уплотнений, имеет ротор на двух радиально-упорных подшипниках № 126126, установленных враспор в корпус (рис. 1).

Задний подшипник через наружное кольцо гидравлическим поршневым устройством может нагружаться осевой силой, которая передаётся на передний подшипник, и замеряется с помощью образцового манометра с точностью 10 Н. Радиальное нагружение подшипников осуществляется весом ротора со съёмными втулками различной массы. В динамике учитывалась также нагрузка от дисбаланса ротора, точность балансировки которого составляет 20 г·см.

В эксперименте оценивалось радиальное перемещение внутреннего кольца подшипника относительно наружного при различных уровнях нагрузки радиальной и осевой силой для нескольких значений оборотов ротора.

Измерение динамического радиального сме-

щения вала под передней опорой ротора в горизонтальной и вертикальной плоскости производилось токовихревыми датчиками (рис. 2,а) с точностью 1 мкм, которое можно пересчитать в динамическое радиальное перемещение внутреннего кольца переднего подшипника № 126126 за счёт наличия жёсткой кинематической связи. Результаты измерений фиксировались и обрабатывались блоком РХИ производства фирмы «National Instruments» (рис. 2,б).

Измерение положения ротора в горизонтальной и вертикальной плоскостях производилось с частотой 20 кГц. Полученные данные обрабатывались измерительной платформой РХИ. Из выборки в 1000 измерений определялись максимальные и минимальные положения ротора, а разница этих значений соответствовала амплитуде колебаний за один оборот. Осреднённое значение выводилось на экран измерительной платформы и записывалось в программный файл. Датчики измерения перемещения ротора закреплены на корпусе установки, что позволяет измерять перемещение ротора относительно корпуса.

В процессе работы стенда перемещения ротора и корпуса до первого резонанса, который имел место при 4000 об/мин, происходит синфазно, что уменьшает относительную амплитуду колебаний ротора, а после резонанса в противофазе. Для повышения точности результатов проводились также измерения и колебаний корпуса в горизонтальной и вертикальной плоскостях с помощью виброизмерительной аппаратуры АУ-0,12 («Дельфин») с точностью измерения виброперемещений 0,1 мкм. Результаты измерений в горизонтальной плоскости представлены на рисунке 3. Перемещения в вертикальной плоскости на порядок меньше, что объясняется различной жёсткостью корпуса в вертикальной и горизонтальной плоскостях, поэтому их не принимали во внимание.

Среднестатистическое значение перемещений внутреннего кольца S_r подшипника относи-

Балякин Валерий Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой.

Жильников Евгений Петрович, кандидат технических наук, профессор.

Косенок Борис Борисович, кандидат технических наук, доцент.

Барманов Ильдар Сергеевич, аспирант.

E-mail: isbarmanov@mail.ru.

Лёжин Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент.



Рис. 1. Фотография испытательного стенда:
 а – с установленными датчиками перемещения корпуса и ротора;
 б – в разобранном виде после испытаний

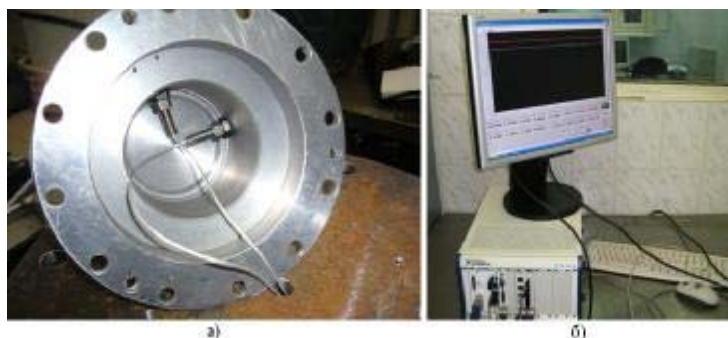


Рис. 2. Фотографии системы измерения перемещений ротора:
 а – токовихревые датчики; б – платформа РХИ для обработки измерений

тельно наружного вычислялось с вероятностью 0,95 и заносилось в соответствующую таблицу программы испытаний. На основании замеренных значений с учётом фаз перемещений корпуса были получены экспериментальные точки, которые нанесены на графики теоретических зависимостей радиального перемещения (рис. 4).

Так как в процессе работы подшипника со временем менялась его температура, а при этом изменяется величина радиального зазора в подшипнике, то теоретические зависимости были построены для расчётных зазоров 10, 20 и 30 мкм. Зная зависимости перемещений колец подшипника от действующих нагрузок можно определить коэффициенты жёсткости.

В связи с тем, что зависимость смещений от нагрузки носит существенно нелинейный характер, то коэффициенты радиальной и осевой жёсткости определяются в виде производных:

$$C_r = \frac{\partial F_r}{\partial S_r}; C_a = \frac{\partial F_a}{\partial S_a}.$$

Заменяя производные отношением приращений, получим:

$$C_r = \frac{R(S_r, S_a) - R(S_r + \Delta S_r, S_a)}{\Delta S_r};$$

$$C_a = \frac{R(S_r, S_a) - R(S_r, S_a + \Delta S_a)}{\Delta S_a}.$$

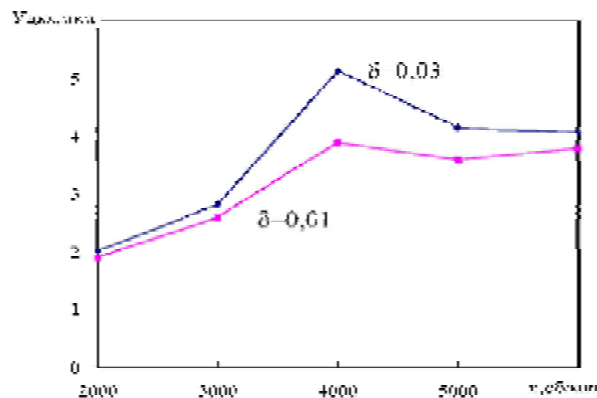


Рис. 3. Зависимость динамического радиального смещения корпуса экспериментальной установки Удкх в горизонтальной плоскости от оборотов при различных биениях ротора δ

Радиальная нагрузка на подшипник складывается из веса ротора и динамической нагрузки от его дисбаланса. В связи с этим радиальная нагрузка изменялась в процессе эксперимента с увеличением оборотов вала от 1180 до 1600 Н.

Из графиков на рис. 4 видно, что имеет место хорошая корреляция экспериментальных и теоретических данных. К сожалению, для испытываемого типа подшипников при существующей конструкции роторной системы всегда имеет место осевая сила, обусловленная проекцией силы веса на горизонтальную ось из-за больших углов контакта, что не позволило исследовать

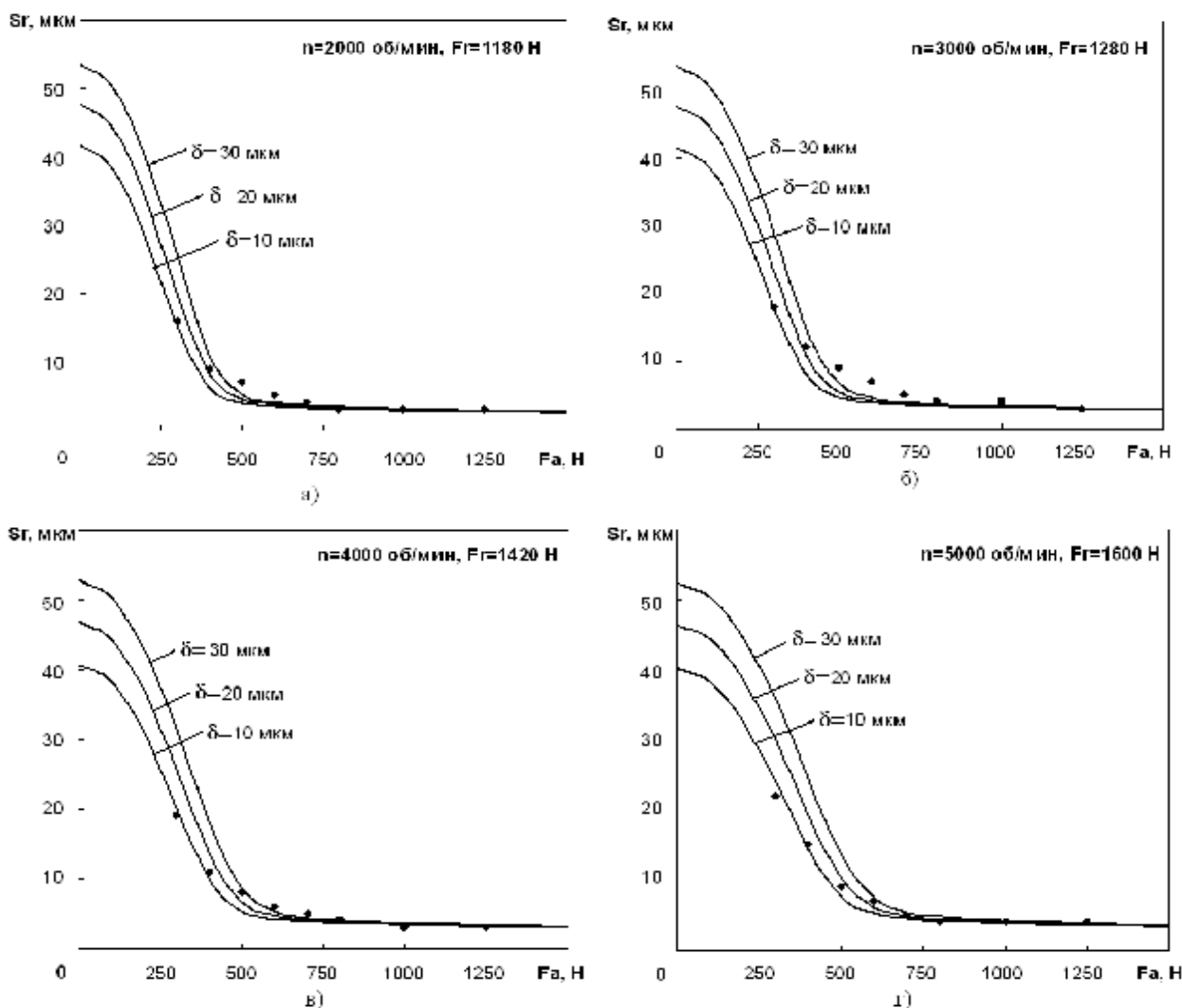


Рис. 4. Сравнение теоретических зависимостей с экспериментальными данными при:
 а – $n=2000$ об/мин, $F_r=1180$ Н; б – $n=3000$ об/мин, $F_r=1280$ Н;
 в – $n=4000$ об/мин, $F_r=1420$ Н; г – $n=5000$ об/мин, $F_r=1600$ Н

область нулевых и малых значений осевой силы.

Полученные результаты численного расчёта можно считать вполне достоверными, что в свою очередь позволяет с достаточной степенью точности проводить расчёт динамики подшипников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балякин В.Б., Жильников Е.П., Косенок Б.Б., Барманов И.С.* Динамика шарикового радиально-упорного подшипника качения // Известия СМЦ РАН, 2010, Т. 12. № 4. С. 144-150.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DYNAMICS OF THE RADIALLY-PERSISTENT AVIATION BEARING

© 2011 V.B. Balyakin, E.P. Zhilnikov, B.B. Kosenok, I.S. Barmanov, D.S. Lezhin

Samara State Aerospace University

In article results of experimental definition of moving of an internal ring of the radially-persistent bearing concerning external are resulted at various combinations of radial and axial forces for several speeds of rotation.

Keywords: the radially-persistent bearing, experimental researches, radial force, axial force, radial moving

Valery Balyakin, Doctor of Technics, Professor, Chief at the department.

Evgeny Zhilnikov, Candidate of Technics, Professor.

Boris Kosenok, Candidate of Technics, Associate Professor.

Ildar Barmanov Graduate Student.

E-mail: barmanov_samara@inbox.ru.

Dmitry Lezhin, Candidate of Technics, Associate Professor.