

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА ОПОРЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2012 Е. Ф. Паровай, В. Б. Гордеев, С. В. Фалалеев

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

Эффективность современных авиационных ГТД во многом лимитируется ограниченными функциональными возможностями применяемых в них подшипников качения. Использование в ГТД подшипников скольжения «сухого картера» расширяет возможности для оптимизации ГТД. Однако в настоящее время не существует адекватной теории проектирования и методики расчёта таких подшипников. В статье рассматриваются особенности моделирования и проектирования гидродинамических подшипников с использованием современных программных средств, таких как NX и ANSYS. Представлены результаты расчётов течения рабочей жидкости в зазоре подшипника в ANSYS CFX.

ANSYS CFX, гидродинамический подшипник, зазор, колодка, оптимизация, рабочая жидкость, распределение давлений.

Введение. Требования к надёжности подшипников и к динамическим характеристикам роторов постоянно ужесточаются, что заставляет искать альтернативу подшипникам качения, которые при больших окружных скоростях не могут иметь высоких ресурсных характеристик.

Опыт применения гидродинамических подшипников скольжения в современных ГТД говорит о целесообразности и необходимости нахождения и оптимизации технического решения конструкции подшипника, обеспечивающего максимальную экономическую эффективность. Подшипник скольжения «сухого картера» (ПССК) с расточкой вкладышей в радиус вала и силовым замыканием рабочего зазора является наиболее эффективным техническим решением данной задачи, так как обладает максимальными возможностями по обеспечению высоких эксплуатационных характеристик и функциональных свойств при низких требованиях к системе управления, источнику электропитания и низким расходом рабочей жидкости [1]. В результате расточки в радиус вала жидкостное трение (или —выход на клин) реализуется сразу с началом вращения вала. Мероприятием по исключению «колодочного флаттера» в условиях «сухого картера» и расточки в радиус вала является силовое замыкание рабочего зазора - принудительное нагружение всех вкладышей. Такой подшипник может работать без принудительной подачи масла в маслоразда-

точные канавки (режим «масляного голодания»). В настоящее время, однако, не существует адекватной методики проектирования ПССК, учитывающей особенности их конструкции и максимально использующей современные расчётные средства. Более того, экспериментальная доводка ПССК проблематична из-за многочисленности факторов, определяющих их характеристики. Поэтому разработка достоверных методов расчёта является важнейшей составляющей при создании и развитии теории проектирования ПССК.

В Самарском государственном аэрокосмическом университете ведутся работы по созданию методики проектирования, расчёта и технологии производства гидродинамических подшипников экономически эффективной конструкции, в том числе и ПССК.

Постановка задачи. Поставлена задача проектирования нового авиационного двигателя на гидродинамических подшипниках или замены подшипников качения на подшипники скольжения с целью модификации существующего авиационного двигателя. Необходимо определить требуемые характеристики нового подшипника (величина и направление воспринимаемой нагрузки, геометрия опоры, эксплуатационные характеристики).

Выбор геометрии подшипника. Геометрические характеристики подшипника в первом приближении рассчитываются с ис-

пользованием исходных данных, которыми являются эксплуатационные и геометрические характеристики двигателя (частота вращения ротора, диаметр вала ротора, нагрузка на подшипник, температура смазки на входе в подшипник и т.п.), характеристики смазки (динамическая вязкость) [2]. Макрогеометрия подшипника определяется исходя из требований к маслосистеме, характеристике ротора и геометрии опоры. Исходя из этих данных определяются геометрия масло-раздаточной канавки, величина относительного зазора и значения коэффициентов нагруженности вкладышей.

Компьютерное проектирование

Проектирование с использованием современных программных средств позволяет получить 3D - модель подшипника с рассчитанными рабочими характеристиками, оптимизировать его геометрию в сравнительно короткие сроки, а также значительно сократить длительность доводки.

Расчёт рабочих характеристик подшипника

Расчёт включает определение положений равновесия шейки вала и каждого из вкладышей, определение равновесных углов

поворота вкладышей (углы), а также нагруженности и расхода смазки при заданной и в общем случае произвольной по направлению нагрузке на подшипник. На рис. 1 представлены результаты ручных (с использованием аналитических зависимостей) и программных расчётов.

Особенности задания граничных условий при расчёте характеристик ПССК

Любой расчёт характеристик гидродинамического подшипника включает в себя решение дифференциальных уравнений Навье-Стокса при течении вязкой жидкости в тонких слоях [3].

В процессе исследований было выяснено, что существующие методики расчёта и проектирования гидродинамических подшипников используют неприемлемые для ПССК граничные условия, которые не учитывают:

- свойств неразрывности смазки;
- свойств смачиваемости смазки;
- скоростного напора смазки;
- отсутствия барботажных потерь и потерь массообмена (теплообмена);
- отличия от нуля избыточного давления по периметру вкладышей.

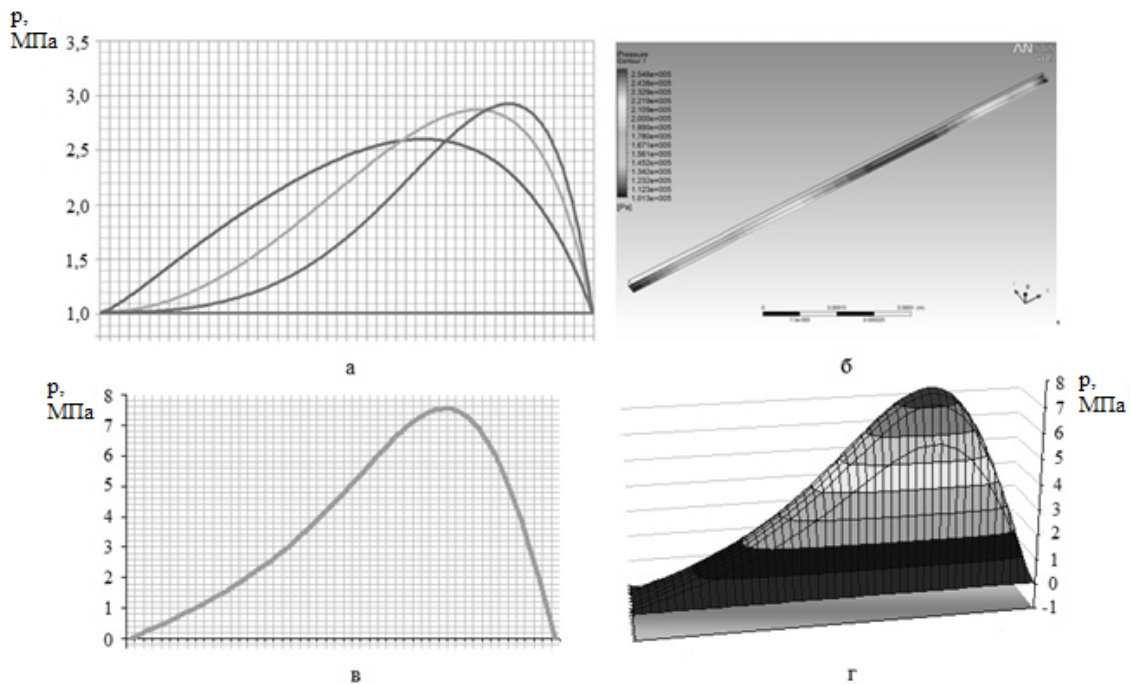


Рис. 1. Распределение давления по зазору гидродинамического подшипника (1 сегмент): а – при сужении зазора от 10 до 40 мкм (снизу вверх) в ANSYS CFX; б – ANSYS CFX; в – график, полученный ручным расчётом с применением аналитических зависимостей; г – 3D-график, полученный ручным расчётом с применением аналитических зависимостей

Прочность колодки и демпфирование МР

Подвес вкладышей упорного и переднего опорного подшипников осуществляется на упругих элементах из пористого упруго-демпфирующего материала металлорезина (МР).

Анализ прочности колодки и определение характеристики подвеса осуществляется исходя из значения рабочей нагрузки на подшипник (веса ротора), удельных рабочих нагрузок на вкладыши подшипника, требуемого ресурса упругого подвеса вкладышей, температурного режима, требуемых демпфирующих свойств и свойств (характеристик) демпфирующего материала, работающего на сжатие в координатах σ - ε , где $\sigma = N/(ab)$ – напряжения сжатия на элемент демпфера в радиальном направлении, $\varepsilon = \Delta N/N$ – радиальная (нормальная) деформация элемента, N – первоначальная толщина демпфера в радиальном направлении в ненагруженном состоянии; a , b – размеры поперечного сечения элемента.

Выражение для расчёта любого процесса нагрузки подвеса с началом, лежащим на граничном процессе петли гистерезиса, имеет вид

$$\sigma(\varepsilon, \varepsilon_0, \nu) = \sigma_{cp}(\varepsilon) + 0,5 \cdot (-1)^{\nu+1} \cdot \sigma_T(\varepsilon) + (-1)^\nu \cdot \sigma_T(\varepsilon) \cdot \exp\left[-5 \cdot \frac{|\varepsilon - \varepsilon_0|}{a_0(\varepsilon_0)}\right]$$

FSI - расчёты

Fluid-Structure Interaction (FSI) - связь между анализом напряжённно-деформированного состояния (ANSYS Mechanical / Multiphysics) и гидродинамическим расчётом (ANSYS CFX). В зависимости от постановки задачи применяется та или иная схема взаимодействия между решателями.

В случае гидродинамического подшипника FSI-расчёты будут включать:

- расчёты параметров потока смазки в узком зазоре подшипника (CFX, статика);
- расчёт теплового и напряжённно-деформированного состояния вкладышей подшипника;

- расчёт напряжённно-деформированного состояния упругих элементов из МР (ANSYS Mechanical);

- гидродинамические расчёты параметров потока смазки в узком зазоре подшипника с учётом «всплывания» вала (CFX, динамика);

- расчёт напряжённно-деформированного состояния вращающегося вала ротора (ANSYS Mechanical).

Оптимизация

На рис. 2 показан общий вид ПССК.

Традиционно в процессе оптимизации подшипника пропорционально варьируются длина и ширина масляного клина при постоянной нагрузке P , окружной скорости (диаметре подшипника) V , гидродинамическом совершенстве клина G_u , вязкости масла μ , зависящей от температуры [4].

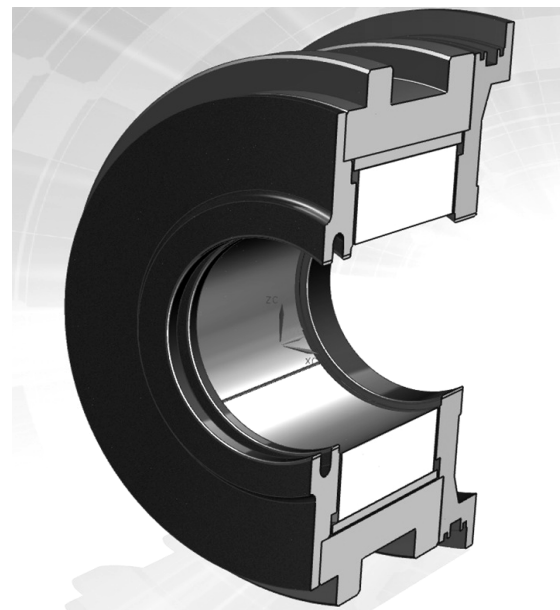


Рис. 2. 3D-модель ПССК в разрезе

Реальная оптимизация предполагает изменение всех параметров (в том числе и конструкции подшипника – количества и геометрии колодок, макрогеометрических характеристик, конструкции упругого подвеса), кроме тех, на которые наложены ограничения (например, диаметр подшипника, температура и вязкость выбранного масла, допускаемая материалом вкладышей удельная нагрузка и т.д.). Оптимизация подразумевает под собой изменение параметров

подшипника и последующий за ним полный пересчёт рабочих характеристик.

Заключение

ПССК обладают существенными преимуществами по сравнению как с подшипниками качения, так и с гидродинамическими подшипниками известных конструкций:

- значительно меньший расход смазывающей жидкости;
- упрощение конструкции опоры, в которой применяется ПССК;
- менее жёсткие требования к системам управления и электроснабжения;
- динамическая устойчивость;
- высокая несущая способность и пр.

Уровень современных программных средств позволяет полностью автоматизировать процесс создания ПССК при условии наличия теоретической базы и методики проектирования и производства.

На данный момент существуют первые наработки по созданию методики проектирования и производства ПССК, которые описаны в данной статье.

Направление дальнейших работ:

- программные расчёты динамических характеристик ПССК;
- проведение расчётных исследований с целью определения оптимальных геометрических параметров подшипника;
- расчётное сопровождение экспериментальных исследований;

- разработка и подробное описание методики проектирования и производства ПССК.

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

Библиографический список

1. Воскресенский, В.А. Расчет и проектирование опор жидкостного трения [Текст] / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков, А.З. Зиле. – М.: Машиностроение, 1983. – 232с.
2. Гордеев, В.Б. Сегментные гидродинамические подшипники скольжения сухого картера с расточкой вкладышей в радиус вала и упругим замыканием рабочего зазора. [Текст]: технический отчёт / В.Б. Гордеев // – Самара: ОАО СКБМ, 2007. – 21 с. – Инв. №ТО-44-К-2007
3. Камерон, А. Теория смазки в инженерном деле [Текст]/А. Камерон. – М.: МашГиз, 1962. – 296 с.
4. Проектирование сегментных гидродинамических подшипников скольжения —сухого картера с расточкой вкладышей в радиус вала и силовым замыканием рабочего зазора [Текст]: технический отчёт НИР: исполнитель ОАО СКБМ [и др.]. – Самара: ОАО СКБМ, 2008. – 133 с. – Инв. № ТО-44-К-2008.

DESIGNING OF THE AVIATION ENGINE'S HYDRODYNAMIC BEARING

© 2012 Ye. F. Parovay, S. V. Falaleev, V. B. Gordeev

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The efficiency of modern gas turbine engines is severely limited by bearings functionality. GTE "dry sump" sliding bearings expand the possibilities for turbine engine optimizing. However, there are no adequate design theory and calculation methodic of the bearing at present. This article describes the features of hydrodynamic bearings modeling and design using modern software such as NX and ANSYS. The results of calculations of flow hydraulic fluid in the bearing gap in ANSYS CFX are given.

ANSYS CFX, hydrodynamic bearing, gap, block, optimization, hydraulic fluid, the pressure distribution.

Информация об авторах

Паровой Елена Фёдоровна, инженер, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: selena_pa@mail.ru. Область научных интересов: моделирование процессов течения смазки в подшипниках скольжения.

Гордеев Владимир Борисович, начальник отдела прочности Открытого акционерного общества «Кузнецов». E-mail: sntk@sntk.saminfo.ru. Область научных интересов: моделирование процессов течения смазки в подшипниках скольжения.

Фалалеев Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipdla@ssau.ru. Область научных интересов: моделирование процессов течения смазки в подшипниках скольжения.

Parovay Elena Fedorovna, engineer of industrial research laboratory №1, Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: selena_pa@mail.ru. Area of research: simulation of fluid (lubricant) flow inside sliding bearings.

Gordeev Vladimir Borisovich, Head of Strength Department, JSC “KUZNETSOV”. E-mail: sntk@sntk.saminfo.ru. Area of research: simulation of fluid (lubricant) flow inside sliding bearings.

Falaleev Sergey Viktorinovich, Doctor of Technical Sciences, professor, Head of Department of Construction and designing of aircraft engines, Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kipdla@ssau.ru. Area of research: simulation of fluid (lubricant) flow inside sliding bearings.