

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

© 2012 Е. Ф. Паровай, А. О. Шкловец

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

В статье описываются особенности конечно-элементного моделирования тонких слоёв смазки с помощью современных программных средств, таких как ANSYS APDL, ANSYS CFX и ICEM CFD. Раскрыта суть основных проблем, возникающих при разбиении моделей узких зазоров на конечные элементы. Приведены достоинства и недостатки программных модулей при работе с малыми зазорами. Показаны пути решения сложностей, возникающих при конечно-элементном моделировании, в частности, проблемы «схлопывания» конечных элементов и проблемы плохой сходимости расчетов в различных модулях ANSYS. Сделаны выводы о методах повышения качества сетки конечных элементов. Описаны направления дальнейших исследований.

ANSYS APDL, ICEM CFD, гидродинамический подшипник, зазор, конечный элемент, пристеночный слой, свободная сетка, «схлопывание», сходимость, упорядоченная сетка.

Введение

В настоящее время при проектировании изделий авиационного назначения, в частности гидродинамических подшипников, применяются программные системы конечно-элементного (КЭ) анализа. Подготовка модели к расчёту в таких системах представляет собой наложение на модель сетки конечных элементов требуемых формы и размера.

Особенности разбиения моделей узкого зазора на конечные элементы

При создании моделей узких зазоров различной геометрии (двухмерных, трёхмерных, со стабилизирующими областями, с маслораздаточной канавкой и форсункой подвода смазки, без явного подвода смазки, зазора между одной колодкой подшипника скольжения «сухого картера» (ПССК) и валом и полного кругового зазора в подшипнике и т.д.) приходится сталкиваться с проблемами по разбиению моделей на конечные элементы (создание сетки).

Причинами таковых проблем являются:

1. *Слишком малая величина моделируемого зазора (от 5 мкм).* Ввиду того, что в работе рассчитываются ультразвукие зазоры, большинство встроенных Mesh-редакторов (в ANSYS CFX – CFX-Mesh) воспринимали предложенную для разбиения геометрию неадекватно. В результате сетка КЭ на зазоре

«схлопывалась», искривлялась, создавая остроугольные элементы (неприемлемого качества, что в лучшем случае резко снижает точность расчёта, а обычно делает расчёт невозможным), или вовсе не накладывалась.

2. *Необходимость наложения упорядоченной сетки на зазор.* Ещё одну сложность при разбиении моделей зазора сеткой конечных элементов вызывает необходимость создания упорядоченной сетки. CFX-Mesh был не в состоянии накладывать упорядоченную сетку на зазор столь малой величины, что особенно хорошо иллюстрировалось при попытках создания объёмного разбиения на элементы.

3. *Обусловленная требованиями гидродинамики форма конечного элемента.* Модель зазора для гидродинамических расчётов должна быть разбита элементами определённой формы для того, чтобы результат расчёта имел достаточно высокую точность. Это форма прямоугольного параллелепипеда (гексаэдра).

Кроме того, для удовлетворительных результатов расчета необходимо соблюдать отношение сторон КЭ до 1 к 20...100.

Чем сложнее геометрия модели, тем хуже она поддается разбиению элементами такой формы.

В случае ширины зазора порядка 5 мкм создание сетки элементами такой сложной формы затруднено.

4. Сравнительно большое количество конечных элементов по ширине зазора. Для удовлетворительной точности расчёта необходимо разбиение зазора на 8 и более КЭ по толщине. В некоторых моделях использовалось разбиение зазора в 5 мкм на 16...20 элементов (следовательно, высота одного КЭ была менее 0,25 мкм).

5. Сгущение сетки (пристеночный слой). Сгущение сетки зазора необходимо для расчётного фиксирования явления отрыва потока от стенки зазора (в пристеночном слое, где изменения параметров течения наиболее заметны) и, в результате, для повышения точности расчётов.

6. Общее высокое качество сетки. Точность любого программного расчёта зависит от количества конечных элементов, на которые модель разбита. В свою очередь, с увеличением числа КЭ заметно возрастает и время расчёта. Кроме того, точность напрямую зависит от качества конечных элементов – разбитая свободной сеткой модель не даст достоверного описания процессов, происходящих в ней, особенно, если это модель течения жидкости в узком зазоре подшипника скольжения.

При проведении ряда расчётов моделей с различным качеством конечных элементов было замечено, что существует зависимость между качеством сетки КЭ в модели и сходимостью программного расчёта. Это значит, что при различном качестве сетки график сходимости расчёта протекает по-разному.

Условием сходимости расчёта принято считать снижение всех графиков рассчитываемых характеристик модели ниже уровня 10^{-4} . При плохом качестве сетки КЭ так называемая сходимость расчёта может быть не достигнута. На рис. 1 показаны графики, полученные в процессе расчёта одной из моделей узкого зазора.

7. Сочетание свободной (неупорядоченной, нерегулярной) сетки на областях стабилизаторов с упорядоченной сеткой зазора. Эта особенность привела к необходимости разбиения поверхностей модели на более мелкие области, описывающие изменения геометрии модели – переходы зазора в области стабилизаторов, выход смазки из подводящей форсунки в маслораздаточную ка-

навку, а затем в рабочий зазор и т.д.

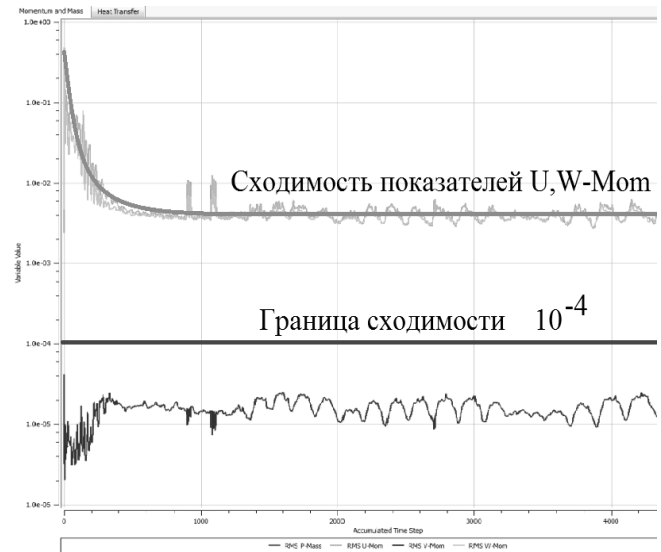


Рис. 1. Пример отсутствия сходимости расчёта в связи с низким качеством сетки КЭ

Это, в свою очередь, обязало создать качественные сопряжения упорядоченной и неупорядоченной (свободной) сеток между отдельными элементами модели.

Создание сетки конечных элементов в ICEM CFD

ICEM CFD – программный модуль ANSYS, представляющий собой генератор сетки конечных элементов.

При разбиении модели гидродинамического подшипника в ICEM CFD создавались блочная структура для получения сгущающейся гексаэдрической сетки в узком зазоре и O-сетка для пристеночного слоя системы подвода смазки (маслораздаточная канавка, форсунка). На рис.2 представлена КЭ-модель зазора гидродинамического подшипника, созданная с помощью ICEM CFD.

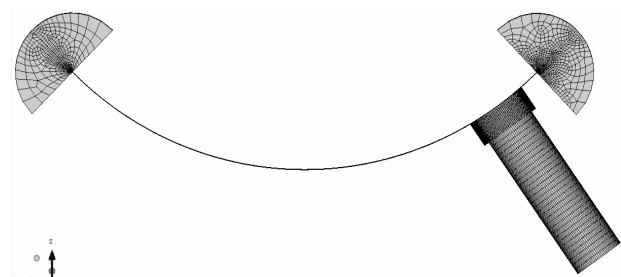


Рис. 2. Модель зазора сегментного гидродинамического подшипника в ICEM CFD (при рассмотрении одной колодки)

При таких достоинствах сеточного генератора ICEM CFD, как возможность работы с любой геометрией и лёгкость создания и связывания любых видов конечных элементов, имел место существенный недостаток - элементы в узком зазоре «схлопывались», что заставило воспользоваться модулем ANSYS APDL для разбиения области зазора.

Создание сетки конечных элементов в ANSYS APDL

ANSYS APDL отличается тем, что в нём можно наложить практически любую сетку конечных элементов на модель любой геометрии, как двухмерную, так и трёхмерную. Это оказалось очень полезным при наложении сетки на большинство расчётных моделей, описываемых в данной работе, так как их геометрия включает в себе несколько особенностей, которые могут неадекватно восприниматься другими программами по разбиению моделей на конечные элементы. Такими особенностями являются:

- 1) слишком малая величина моделируемого зазора (от 5мкм);
- 2) необходимость наложения упорядоченной сетки на зазор;
- 3) обусловленная требованиями гидродинамики форма конечного элемента;
- 4) сравнительно большое количество элементов по толщине зазора;
- 5) сгущение сетки у краёв зазора (пристеночный слой);
- 6) сочетание свободной (неупорядоченной, нерегулярной) сетки на областях стабилизаторов с упорядоченной сеткой зазора.

Полная модель подшипника (рис. 3) представляет собой 3D-модель зазора (зазоры между колодками и валом, между колодками) и стабилизирующих областей, введённых во избежание вихрей и обратных токов, заметно искажающих результаты расчётов.

Модель подшипника является параметрической по смещению вала относительно колодок, который задаётся переменной эксцентриситета $smesh$ («смещение»).

Первоначально модель создаётся с эксцентриситетом вала $smesh=0$ (для первого расчёта). Затем следующие модели для исследования зависимости распределения дав-

лений по зазору от смещения вала получают путем изменения величины $smesh$ в log-файле.

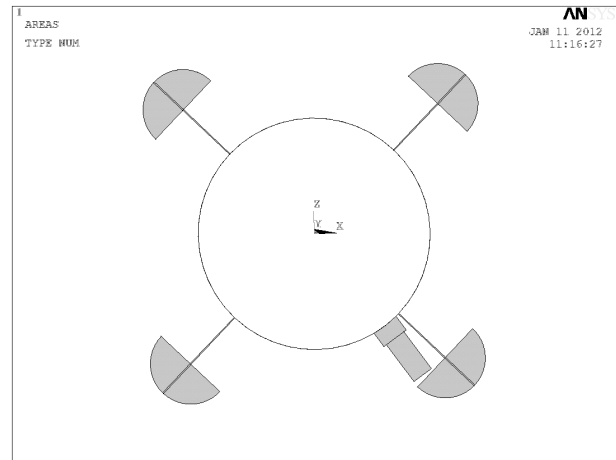


Рис. 3. Модель зазора сегментного гидродинамического подшипника

На рис. 4 показана поверхностная свободная сетка (неупорядоченная, free-сетка) на областях стабилизатора потока смазки. Такой вид сетки может применяться для разбиения больших добавочных объёмов, значения параметров потока внутри которых маловажны или не представляют практического интереса.

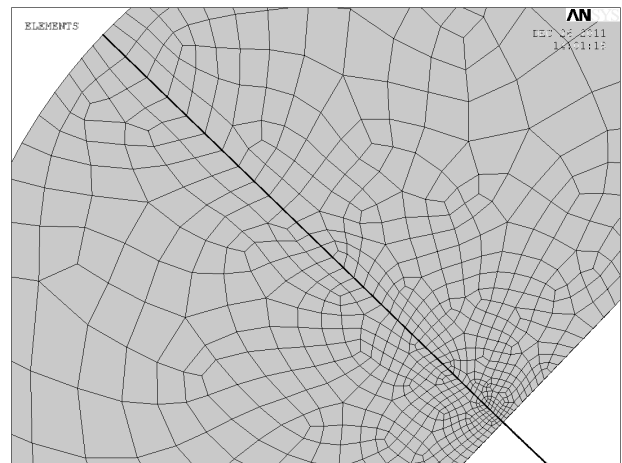


Рис. 4. Сетка области стабилизатора

На рис. 5 показана упорядоченная сетка с пристеночным слоем (сгущением), наложенная на 5-микронный зазор.

Форма и количество конечных элементов в модели учитывают требования гидродинамики.

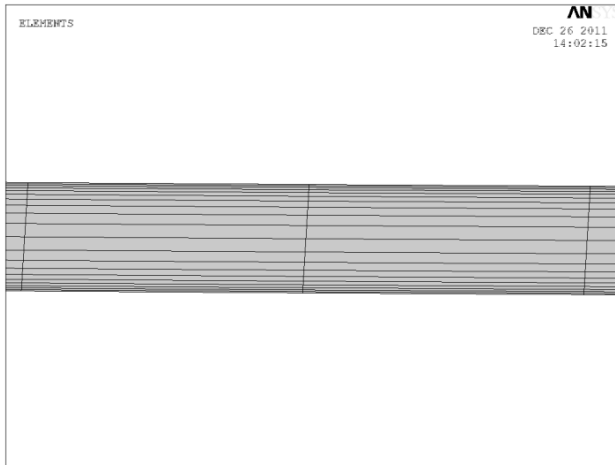


Рис. 5. Сетка области зазора

Заключение

Конечно-элементное моделирование тонких слоёв смазки обладает рядом особенностей, которые необходимо учитывать при наложении на них сетки конечных элементов.

Только оперируя моделью с достаточно высоким качеством сетки конечных элементов, можно судить о результатах её расчёта, как о достоверных, то есть точно описывающих процессы течения жидкости.

Повысить качество сетки, разбивающей модель узкого зазора на конечные элементы, можно, учитывая следующие особенности:

- 1) обусловленная требованиями гидродинамики форма конечного элемента;
- 2) количество конечных элементов по ширине зазора не менее 9;
- 3) сгущение сетки (пристеночный слой);
- 4) общее высокое качество сетки.

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: исполн. ОАО СКБМ [и др.]. – Самара: ОАО СКБМ, 2008. – 133 с. – Инв. № ТО-44-К-2008.
5. Справочник по триботехнике [Текст]: В 3 т. Т.2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / под ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.

AVIATION ENGINE'S HYDRODYNAMIC BEARING MODELING

© 2012 Ye. F. Parovay, A. O. Shklovets

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

In this article are described. features of final-element modeling of thin lubricating layers by means of modern software, such as by ANSYS APDL, ANSYS CFX and ICEM CFD. The essence of the main problems arising at narrow gaps models splitting on final elements is opened. Advantages and disadvantages of program modules at work with small gaps are given. Solutions of the difficulties arising at final-element modeling are shown, in particular, problem of

final element zero thickness and problem of calculations bad convergence in various ANSYS modules. Conclusions about methods of mesh quality improvement are drawn. The directions of further researches are described.

ANSYS APDL, ICEM CFD, hydrodynamic bearing, gap, near-a-wall layer, free mesh, final element zero thickness, convergence, ordered mesh.

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.

Шкловец Александр Олегович, младший научный сотрудник, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: SSAU_Shklovets@mail.ru. Область научных интересов: динамика и прочность в лопаточных машинах, анализ конструкций методом конечных элементов.

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.

Shklovets Alexander Olegovich, junior research assistant of industrial research laboratory №1, Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: SSAU_Shklovets@mail.ru. Area of research: dynamics and strength in blade machines, analysis of structures using FEM.