

УДК 536.24

П.А. ВОВК, А.В. МЕНЯЙЛОВ

ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН В ОБЪЕМНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Приведена программная реализация процесса формирования граничных условий на поверхностях проточной части турбомашин для конечно-элементной модели ANSYS, имея в качестве исходных данных файл с результатами газодинамического расчета. Для решения указанной задачи разработаны две программы, которые позволяют наносить нагрузки (давление и конвекция) на поверхности турбомашин для последующего их использования в сопряженном анализе тепло-прочности. В данной статье приводится принцип работы данных программ, их возможности и область применения, кроме того, приводятся результаты их работы на примере рабочего колеса центробежного компрессора.

Ключевые слова: граничные условия, конечно-элементная модель, коэффициент теплоотдачи, давление, температура потока, интерполяция, элементы сетки, узлы сетки.

Введение

При решении тепловых задач и задач прочности часто возникают ситуации, когда известные нагрузки, заданные в некоторых точках по проточной части, необходимо приложить к конечно-элементной модели детали. Эта проблема возникает потому что существует различие между расчетными областями газодинамического и теплового расчетов, кроме того сетки, как правило, имеют не совпадающие узлы, разные плотности, а также могут иметь разные типы элементов.

В данной работе рассматривается проблема передачи нагрузок на конечно-элементную модель ANSYSa из стороннего решателя на примере центробежного колеса компрессора для последующих тепловых расчетов и расчетов на прочность.

Передача нагрузок от одной сетки к другой может быть выполнена путем использования вспомогательных программ, которые в автоматическом режиме подсчитывают коэффициенты интенсивности теплоотдачи и передают нагрузки из данных газодинамического расчета на твердотельную конечно-элементную модель, построенную в ANSYS или другом генераторе сетки.

Обработка файла результатов газодинамического счета

Для согласования расчетных областей газодинамической и прочностной сеток разработана программа обработки файла нагрузок полученного в газодинамическом решателе. Эта программа переносит часть данных файла нагрузок на угол сектора

модели детали. Это реализуется переходом в цилиндрическую систему координат, изменением угловой координаты на угол сектора модели и обратным переходом к декартовой системе координат. После этого для каждой из поверхностей: давления, разрежения и диска выбираются только необходимые данные и создаются отдельные файлы нагрузок с известными параметрами потока в точках. Для каждого из полученных файлов определяются локальные коэффициенты теплоотдачи. В качестве определяющего размера для поверхностей давления и разрежения принято расстояние от входной кромки лопатки, для поверхности диска - расстояние от переднего торца диска, для входной кромки - диаметр входной кромки. В качестве определяющей скорости принята скорость в относительном движении для рабочих колес и абсолютная скорость для направляющих аппаратов. Все теплофизические свойства выбраны по температуре потока в относительном (абсолютном для направляющих аппаратов) движении по заторможенным параметрам. Для определения коэффициентов теплоотдачи использовались следующие зависимости:

$$Re = \frac{w \cdot x \cdot \rho}{\mu}, \quad (1)$$

где Re – число Рейнольдса;

w – скорость потока;

x – определяющий размер;

ρ – плотность;

μ – динамическая вязкость.

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda}, \quad (2)$$

где Pr – число Прандтля;

C_p – теплоемкость при постоянном давлении;

λ – коэффициент теплопроводности;

$$Nu = 0,74 \cdot Re^{0,5}, \quad (3)$$

где Nu – число Нуссельта

$$Nu = 0,0296 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}, \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{x}. \quad (5)$$

В качестве результата программа создает файлы для поверхностей, которые содержат координаты точек и значение параметров по данным точкам (коэффициент теплоотдачи, температура, давление).

Подготовка конечно-элементной модели для следующего шага

На уже имеющихся трехмерных элементах необходимо сгенерировать сетку с поверхностным эффектом. В зависимости от дисциплины анализа определяется тип элементов. SURF152 для теплового расчета, SURF154 для расчетов на прочность. Информация по созданным элементам и узлам сохраняется для последующих действий. Далее нагрузки будут прикладываться к созданным на данном этапе элементам.

Определение нагрузок по элементам

Для определения нагрузок по элементам следующая программа использует три файла созданных на предыдущих этапах. Это файл с параметрами потока в точках, файл с координатами узлов сетки с поверхностным эффектом, файл с информацией по элементам. Для определения нагрузок в узлах программа вычисляет расстояние от узлов до всех точек

файла нагрузок, сортирует массив расстояний методом сортировки обменом по возрастанию. Далее в зависимости от введенного пользователем количества точек интерполяции определяется значение нагрузки по каждому узлу сетки. Есть возможность выбора точек интерполяции от одной до пяти. Значения нагрузок в узлах вычисляются по формулам:

$$f(\rho) = f(\rho_{\min}), \quad (6)$$

$$f(\rho) = \frac{\sum \frac{f_i}{(\rho - \rho_i)^2}}{\sum \frac{1}{(\rho - \rho_i)^2}}. \quad (7)$$

Если количество точек интерполяции выбирается равным единице, то расчет значения нагрузки ведется по (6), то есть за значение неизвестной функции берется значение известной функции в точке, ближайшей к рассматриваемой. При выборе точек интерполяции более одной расчет ведется по неклассическому методу интерполяции (7).

В зависимости от выбранного пользователем порядка элементов программа создает файлы с командами приложения поверхностных нагрузок на элементы с переменными значениями по узлам (команда SFE). Граничные условия наносятся на элементы простым открытием этих файлов в ANSYS.

Результат работы программ

В результате работы программ нанесены граничные условия на конечно-элементную модель сектора центробежного компрессора, которые представлены на рисунках 1, 2, 3. В данном случае нагрузки нанесены на элементы первого порядка с интерполяцией по одной точке.

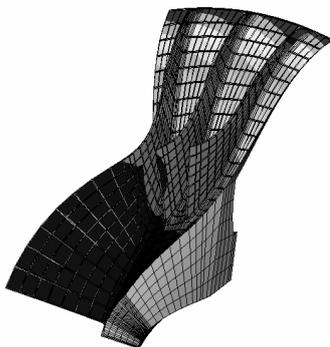


Рис. 1. Распределение давления

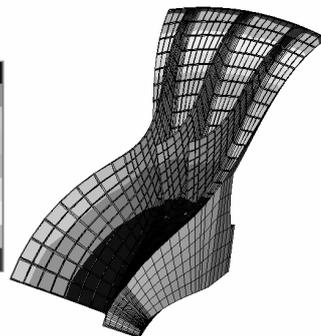


Рис. 2. Температура газа

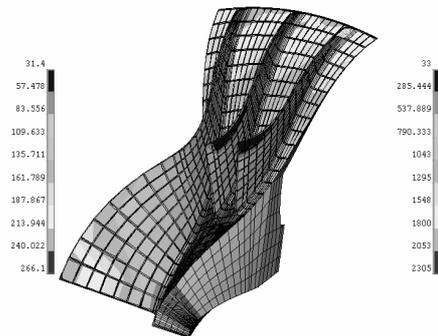


Рис. 3. Коэффициент теплоотдачи

Заключение

Разработана автоматизация расчета коэффициентов теплоотдачи и нанесения граничных усло-

вий на поверхности проточной части конечно-элементной модели сектора рабочего колеса компрессора. Имеется возможность применения программ для ЦБК различной конструкции (с одной короткой

лопаты, двумя и без них), возможно применение программ для нанесения граничных условий на поверхности осевого компрессора, а также осевой турбины и центробежной турбины. В программе заложена возможность работы с элементами различного порядка (восьми или двадцати узловыми элементами) и выбор количества точек интерполяции данных.

Разработанные программы позволяют подготовить данные по поверхностным нагрузкам для последующих тепловых расчетов и расчетов на прочность.

Литература

1. Чигарев А.В. ANSYS для инженеров: Справ. пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
2. Авдеевский В.С. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / В.С. Авдеевский, Б.М. Галицкий, Г.А. Глебов и др. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.
3. Хоменко А.Д. Delphi 7: Справ. пособие / А.Д. Хоменко, В. Гофман, Е. Мецераков, В. Никифоров. – СПб., БХВ-Петербург, 2004. – 1216 с.

Поступила в редакцию 21.05.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры Д.Ф. Симбирский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ФОРМУВАННЯ МЕЖОВИХ УМОВ НА ПОВЕРХНЯХ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ТУРБОМАШИН В ОБ'ЄМНІЙ ПОСТАНОВЦІ

П.А. Вовк, А.В. Меньяйлов

Наведено програмну реалізацію процесу формування межових умов на поверхнях проточної частини турбомашин для скінченно-елементної моделі ANSYS, маючи у якості первинних даних файл з результатами газодинамічного розрахунку. Для рішення вказаного завдання розроблені дві програми, котрі дозволяють наносити навантаження (тиск та конвекція) на поверхні турбомашин для подальшого використання у спряженому аналізі тепло-міцність. У цій статті приводиться принцип роботи цих програм, їх можливості та галузь застосування, крім цього, наводяться результати їх роботи на прикладі робочого колеса центробіжного компресора.

Ключові слова: межові умови, скінченно-елементна модель, коефіцієнт тепловідатності, тиск, температура потоку, інтерполяція, елементи сітки, вузли сітки.

GENERATION OF BOUNDARY CONDITIONS ON FLOW PATH SURFACES OF TURBOMACHINES IN THREE-DIMENSIONAL PROBLEM

P.A. Vovk, A.V. Myenyaylov

A program realization of boundary conditions generation process on surfaces of a turbomachines flow path for a finite-element ANSYS model is given, as initial data it has a file with results of gas-dynamic calculation. Two programs, which allow to apply loadings (pressure and convection) to surfaces of turbomachines for their subsequent use in the coupled analysis heat-structure, are developed for the solution of the specified problem. In given article the principle of the given programs work, their capabilities and a field of application are given, besides the results of their work on an example of the centrifugal compressor impeller are shown.

Key words: boundary conditions, finite-element model, heat-transfer coefficient, pressure, flow temperature, interpolation, grid elements, grid nodes.

Вовк Павел Анатольевич – специалист, инженер-конструктор расчетно-экспериментальной группы отдела компрессоров ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина, e-mail: vovk Pavel@gmail.com.

Меньяйлов Андрей Владимирович – канд. техн. наук, начальник расчетно-экспериментальной группы отдела компрессоров ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина, e-mail: myenyaylov@ukr.net.