

параметрические модели в терминах турбомашин: лопатка состоит из набора сечений, в которых профиль описывается радиусами кромок и сплайнами, задается точка связи оси и меридиональный, тангенциальный навалы.

В качестве оптимизационной среды выбран ПК FINE\Design3D, объединяющий в одном пользовательском интерфейсе параметризатор AutoBlade, алгоритмы нейронных сетей, а также эффективные оптимизационные генетические и градиентные алгоритмы.

Оптимизация геометрии СА производится с параметрами рабочей точки, численные расчеты течения в процессе оптимизации производятся только для СА, на входе при этом задается распределение параметров, полученное при расчете всей ступени. В качестве целевой функции выбран коэффициент восстановления полного давления β СА, в качестве ограничений – остаточная закрутка потока. Решается несколько оптимизационных задач, отличающихся между собой количеством варьируемых переменных, дополнительными ограничениями и оптимизационными алгоритмами.

Список литературы

1. Д.В. Ворошнин, И.Н. Егоров, М.Г. Михеев, К. С. Федечкин «Опыт использования CFD методов (программный комплекс NUMECA FINE\Turbo) для разработки сложных технических систем».
2. Кампсти, Н. Аэродинамика компрессоров Текст. / Н. Кампсти.- М.: Мир, перевод под ред. Ф. Ш. Гельмедова, 2000.
3. C. Hirsch, Numerical Computation of Internal & External Flows: the Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, 2nd ed. Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2007.
4. Pio Astrua, Stefano Piola, Andrea Silingardi, Federico Bonzani. Multi-objective constrained aero-mechanical optimization of an axial compressor transonic blade.
5. Dr A. Demeulenaere & Prof. Ch. Hirsch, Application of multipoint and multistage optimization to the design of turbomachinery blades.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CFD МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГИДРОАЭРОДИНАМИКИ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН

О.В. Маракуева, ООО «НУМЕКА», г. Санкт-Петербург, contact@numeca-ru.com
Д.В. Ворошнин, ООО «НУМЕКА», г. Санкт-Петербург, contact@numeca-ru.com

Численное моделирование применительно к проектированию турбомашин имеет более чем пятидесятилетнюю историю. Непосредственно под термином CFD (Computational Fluid Dynamic – вычислительная газовая динамика), который часто используется в последнее время, понимается именно численное интегрирование системы осредненных по Рейнольдсу трехмерных уравнений Навье - Стокса с привлечением моделей турбулентности, хотя в общем смысле термин значительно шире. На начальных этапах использования трехмерных методов в турбомашиностроении большинство компаний, мировых лидеров в области разработки турбомашин, сами вкладывали серьезные средства в разработку CFD программных продуктов. Уже к середине 90-х годов прошлого столетия у большинства компаний

появился собственный инструмент для проведения трехмерных расчетов (коды внутренней разработки). Параллельно с развитием внутренних кодов шла разработка универсальных коммерческих программных продуктов.

В отличие от остальных коммерческих универсальных CFD кодов, программный комплекс FINE\Turbo специализирован для трехмерных расчетов турбомашин любых типов (осевые, диагональные, радиальные). В ПК FINE\Turbo реализованы все необходимые возможности именно для разработки (проектирования) турбомашин на базе CFD подхода. Кроме того, реализованы уникальные методы и подходы для специальных задач турбомашиностроения, например NLH метод.

Непосредственно численное моделирование в рамках CFD подхода можно разделить на несколько этапов. На первом этапе строится дискретная модель (создается расчетная сетка), задаются граничные и начальные условия, назначаются параметры расчета, первый этап принято называть «препроцессингом». На втором этапе проводится расчет, а на третьем выполняется анализ решения с определением потребных характеристик. Для автоматизации препроцессинга в состав комплекса FINE\Turbo входит модуль Autogrid, предназначенный для построения высококачественной блочно-структурированной гексаэдральной расчетной сетки проточной части лопаточных машин. Данный модуль, как и другие модули пакета FINE\Turbo, обладает высоким уровнем автоматизации, что обеспечивается техникой использования специальных шаблонов (O-, J-, H- I- типа), такой подход позволяет быстро создавать расчетные сетки высокого качества для любого типа турбомашин с учетом таких геометрических особенностей, как несимметричные обводы, антивибрационные полки, бандажи, радиусные сопряжения, зазоры, охлаждающие элементы и др. Например, при наличии подготовленной геометрии (трактовые линии турбомашин и поверхность лопатки) и соответствующего уровня подготовки пользователя, для создания структурированной сетки десятиступенчатого компрессора (22 венца) «с нуля», требуется чуть более двух часов.

Явный структурированный решатель комплекса FINE\Turbo (EURANUS) позволяет решать большой ряд задач за счёт наличия широкого набора граничных условий, моделей турбулентности, физических моделей. При этом он обладает очень высокой скоростью вычислений и крайне низким потреблением оперативной памяти (примерно 500 мегабайт оперативного пространства на 1 миллион ячеек). Это достигается за счет использования геометрического многосеточного метода с явным маршем по времени. Причем особенностью многосеточного метода является строгая вложенность (иерархия) сеток, которая автоматически обеспечивается в ходе построения сетки. Подобный подход не требует дополнительных интерполяционных процедур, что более чем в два раза увеличивает скорость счета по сравнению с подобными универсальными решателями, основанными на явной маршевой схеме. Другим инструментом, позволяющим ускорить процесс расчета, является CPU Booster, т.е. переход к явно-неявному методу решения, что ускоряет процесс расчета в 3-10 раз. В задачах газодинамики турбомашин одним из основных пунктов является моделирование взаимодействия «ротор-статор», помимо основных стационарных и нестационарных методов (mixing plane, frozen rotor, NRBC, phase-lagged, sliding mesh, domain scaling), в Fine\Turbo реализован подход NLH (нелинейный гармонический метод), позволяющий за короткое время получать нестационарное решение (при этом расчет производится в одном межлопаточном канале). Данный метод применяется при анализе нестационарных явлений, моделировании входной неравномерности и надроторных устройств, а также при исследовании clocking эффектов. Другой уникальной особенностью Fine\Turbo является возможность легко находить доверительный интервал при вычислении эффективности. При расчете учитывается

нормальное распределение «шумящих» входных параметров (значения граничных условий, геометрические неопределенности, такие как радиальный зазор, радиус входной кромки лопатки и др.). В настоящее время всё более актуальными становятся многодисциплинарные задачи, решение FSI задач в ПК Fine\Turbo возможно двумя способами: модальным подходом (в котором структурная деформация рассчитывается с помощью модальных уравнений, где динамическое поведение линейной системы представляется в виде разложения по формам собственных колебаний, на каждом физическом временном шаге с учетом нагрузки жидкости на конструкцию) и с применением интерфейса MPCSI для связки со сторонним прочностным решателем.

Для решения оптимизационных газо- и гидродинамических задач с целью повышения параметров эффективности применительно к любым типам лопаточных машин, одно- и многоступенчатым осевым, центробежным и диагональным компрессорам, турбинам, насосам, вентиляторам, пропеллерам и т.д. в автоматической связке с Fine\Turbo может быть использована оптимизационная среда FINE\Design3D. Программный комплекс FINE\Design3D объединяет в одном пользовательском интерфейсе геометрический параметризатор лопаточных венцов AutoBlade, алгоритмы нейронных сетей, а также эффективные оптимизационные генетические и градиентные алгоритмы. AutoBlade позволяет конвертировать любые САД модели в полностью параметрические, т.е. описывать импортированную геометрию набором связанных друг с другом параметров в терминах турбомашиностроения и работать с ним в интерактивном графическом режиме. Предлагается использовать большой выбор типов параметрических моделей из области турбомашиностроения, вводить пользовательские параметры, а также выполнять тщательный анализ полученной геометрии, необходимый при модернизации и доводке геометрии турбомашин.

Необходимо отметить, что CFD, как любой сложный инструмент, требует настройки и опыта применения, то есть отработки методики использования для моделирования определенного типа турбомашин. Разработка таких методик выполняется на основании верификационных работ. Компания ООО «НУМЕКА» имеет большой опыт по расчетной идентификации возможностей программного комплекса FINE\Turbo применительно к различным типам турбомашин: многоступенчатые осевые компрессора, отдельные ступени осевых компрессоров, ступени осевых турбин, ступени центробежных компрессоров, в том числе с высокой степенью сжатия, промышленные вентиляторы, ступени погружных насосов, промышленные насосы гидротурбины.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В МНОГОСТУПЕНЧАТОМ ОСЕВОМ КОМПРЕССОРЕ ВЕРТОЛЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЗ-117

О.В. Маракуева, ООО «НУМЕКА», г. Санкт-Петербург, contact@numeca-ru.com

Д.В. Ворошнин, ООО «НУМЕКА», г. Санкт-Петербург, contact@numeca-ru.com

А.С. Муравейко, ООО «НУМЕКА», г. Санкт-Петербург, contact@numeca-ru.com

Производится моделирование течения в многоступенчатом осевом компрессоре вертолетного двигателя ТВЗ-117 с использованием ПК FINE/Turbo с целью разработки расчетной модели и её идентификации. В процессе моделирования течения