

ПОДНАПРАВЛЕНИЕ
«РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ГТД» /
«WORKFLOWS OF GAS TURBINE ENGINE COMPONENTS»

УДК621.431.75

СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ТУРБОМАШИН TURBOR&D

Д.В.Ворошнин¹, Р.А.Загитов¹, О.В.Маракуева¹, Н.В.Шуваев¹, А.В.Горобец², А.П. Дубень²

¹ ООО «ИЦЧИssl», Санкт-Петербург, d.voroshnin@rescent.com

² ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, aduben@keldysh.ru

Ключевые слова: цифровой двойник, турбомашины, газодинамика, CFD.

Компания ООО "Инженерный Центр Численных Исследований" на протяжении 15 лет является одним из лидеров в направлении применения методов вычислительной газовой динамики в турбомашиностроении. За время работы компания выполнила более 100 проектов по проектированию, анализу, доводке турбомашин различных классов: промышленные компрессоры, насосы, энергетические турбины, двигатели гражданской и боевой авиации и т.д. Компания внедрила в производственный цикл лидеров отечественного турбомашиностроения современные системы проектирования и анализа, такие как NUMECA, ConceptsNREC, ThermoGTE и др. Основываясь на богатом опыте работы, компания начала разработку отечественной системы специализированного ПО CAE для турбомашин в рамках импортозамещения и создания цифровых двойников. Планируемая структура системы: профилятор 3D геометрии лопаточных машин, структурированный сеточный генератор (лопаточного и общего назначения), 3D газодинамический решатель. В докладе приводятся результаты разработки двух модулей: структурированного сеточного генератора для лопаточных машин TRD.Mesher и 3D CFD решателя TRD.Solver.

Разработанный сеточный генератор TRD.Mesher позволяет строить блочно-структурированные гексагональные сетки высокого качества в проточной части лопаточных машин с учетом радиальных зазоров, галтелей сложной формы, осесимметричных отборов, в том числе и для двухконтурных конфигураций. Процесс построения сетки обладает высокой степенью автоматизации. Тестирование, проведенное специалистами различных компаний, подтверждает эффективность разработанного ПО и его конкурентоспособность среди зарубежных аналогов, активно используемых в промышленности. В докладе представлен основной функционал и примеры использования в сравнении с другими коммерческими генераторами.

В качестве 3D газодинамического решателя TRD.Solver используется научно-исследовательский комплекс NOISEtte [1, 2], разработанный в секторе вычислительной аэроакустики Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН. Программный комплекс включает в себя численные методики решения систем уравнений Эйлера и Навье–Стокса для сжимаемого газа на неструктурированных гибридных сетках. Для расчета турбулентных течений в комплексе программ предусмотрены современные методы моделирования турбулентности: RANS, LES, DES, IDDES. Для пространственной дискретизации применяется вершинно-центрированный конечно-объемный численный метод повышенной точности, основанный на использовании оригинальной EBR (Edge-Based Reconstruction) схемы [3]. Для интегрирования по времени используются различные явные и неявные схемы. Распространение акустических возмущений в дальнем поле моделируется с помощью метода Фокса-Уилльямса-Хокинга (FW/H). Для возможности моделирования стационарных течений в турбомашинах реализован алгоритм поверхности смешения Mixing Plane [4] (рис. 1), нестационарные задачи могут рассматриваться с помощью внедренного интерфейса Sliding Mesh. Двухуровневое распараллеливание MPI+OpenMP и инфраструктура для работы с большими неструктурированными сетками дает возможность задействовать для одного расчета несколько десятков тысяч процессорных ядер и использовать сетки с числом элементов более миллиарда.

В докладе представлены результаты моделирования турбомашин различного типа (например, ступени осевого компрессора, рис.1), в том числе и многоступенчатых конфигураций (до 16 ступеней). Результаты согласуются с коммерческими решателями по картинам течения, интегральным характеристикам и времени получения решения.

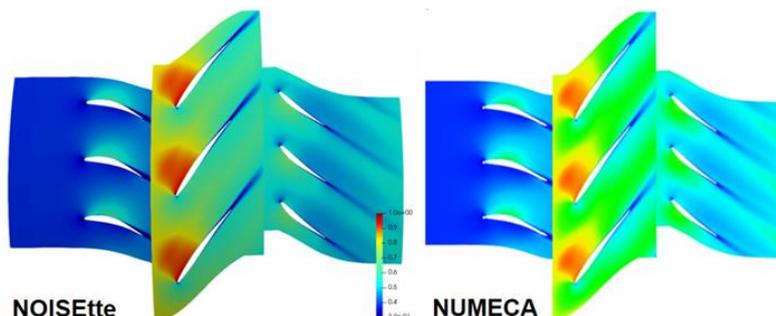


Рисунок 1 – Распределение числа Маха в относительном движении в среднем сечении

Разработка газодинамического решателя выполняется при поддержке Российского научного фонда, проект № 21-71-10100.

Список литературы

1. Абалакин И.В., Бахвалов П.А., Горобец А.В., Дубень А.П., Козубская Т.К. Параллельный программный комплекс NOISEtte для крупномасштабных расчетов задач аэродинамики и аэроакустики // Вычислительные методы и программирование, т. 13 (2012), С. 110-125.
2. Gorobets A.V. Parallel algorithm of the NOISEtte code for CFD and CAA simulations // Lobachevskii Journal of Mathematics, 2018, 39(4), pp. 524-532.
3. Bakhvalov P.A., Abalakin I.V., Kozubskaya T.K. Edge-based reconstruction schemes for unstructured tetrahedral meshes // Int. J. Numer. Methods Fluids, 2016, 81(6), pp. 331-356.
4. Denton, J. and Singh, U.: Time Marching Methods for Turbomachinery Flow Calculations. von Karman Institute Lecture Series 1979-7 (1979). <https://doi.org/10.1115/1.3227444>

Сведения об авторах

Ворошнин Д.В., генеральный директор. Область научных интересов: проектирование, газодинамический анализ турбомашин.

Загитов Р.А, кандидат технических наук, руководитель группы по разработке ПО. Область научных интересов: вычислительная газодинамика, построение расчётных сеток.

Маракуева О.В., инженер-расчетчик. Область научных интересов: вычислительная газовая динамика, газодинамический анализ турбомашин.

Шуваев Н.В., кандидат технических наук, ведущий инженер-программист. Область научных интересов: вычислительная газовая динамика, аэроупругость, ГТД.

Горобец А.В., доктор физико-математических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник. Область научных интересов: параллельные вычисления, вычислительная газовая динамика, аэроакустика.

Дубень А.П., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Область научных интересов: газовая динамика, турбулентность, аэроакустика.

TURBOMACHINERY DESIGN AND ANALYSIS SYSTEM TURBOR&D

D.V. Voroshnin¹, R.A. Zagitov¹, O.V. Marakueva¹, N.V. Shuvaev¹, A.V. Gorobets², A.P. Duben²,

¹LLC "Numerical Calculations Russia", St. Petersburg, Russia, d.voroshnin@rescent.com

²Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, aduben@keldysh.ru

Keywords: digital twin, turbomachinery, gasdynamic, CFD.

The results of development of the Russian turbomachinery design and analysis system TurboR&D are described. The system includes a block-structured automatic grid generator and a 3D CFD solver. The main functionality and examples of usage are shown.