FLOWVISION: ИНСТРУМЕНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (О CFD – КУЗНИЦЕ, ЖИТНИЦЕ И ЗДРАВНИЦЕ)

А.А. Аксенов
ООО «ТЕСИС», г. Москва, info@flowvision.ru

Программный пакет FlowVision [1] изначально создавался как код вычислительной гидродинамики (CFD-код), но сейчас превращается в междисциплинарную платформу для автоматизированного проектирования. «Классическая» физика FlowVision – это математические модели тепломассопереноса и движения жидкости (уравнения Навье-Стокса), реализованные для трехмерных, несжимаемых и сжимаемых потоков, ньютоновских и неньютоновских жидкостей. В настоящее время в программном комплексе FlowVision имеется численное решение стационарных уравнений Максвелла для моделирования электрического тока и электромагнитных полей в сплошной среде, модель переноса излучения для радиационного теплообмена, модель движения дисперсной фазы (пузырьки, капли, песчинки), расчет источника акустических колебаний и их перенос в расчетной области. Также имеются инструменты для моделирования сложных течений – среди них скользящие поверхности для расчета вращающихся машин (турбины, компрессоры, насосы), моделирование несмешивающихся жидкостей с контактными поверхностями, движение тел относительно неподвижной области, разрешение пограничных слоев с помощью призматической сетки для получения $y^+ \ll 1$.

FlowVision моделирует турбулентность двумя различными подходами. Первый подход основывается на осредненных уравнений Рейнольдса (RANS-подход) [2], имеются несколько моделей турбулентности – модели Спаларт-Аллмареса, SST Ментора (с ее расширением для морделирования ламинарно-турбулентного перехода) и несколько вариаций k-ϵ модели – от стандартной Сполдинга до собственной разработки KEFV. Второй подход – вихреразрешающие методы с использованием неявного моделирования больших вихрей (ILES) или подсеточного моделирования турбулентности моделью Смагоринского. В работе показано, что

использование так называемых скошенных схем для расчета конвективных потоков позволяет повысить точность вихреразрешающих методов расчета турбулентности. Приведено сравнение с экспериментом по разнотемпературному смешению жидкостей в Т-образном переходе.

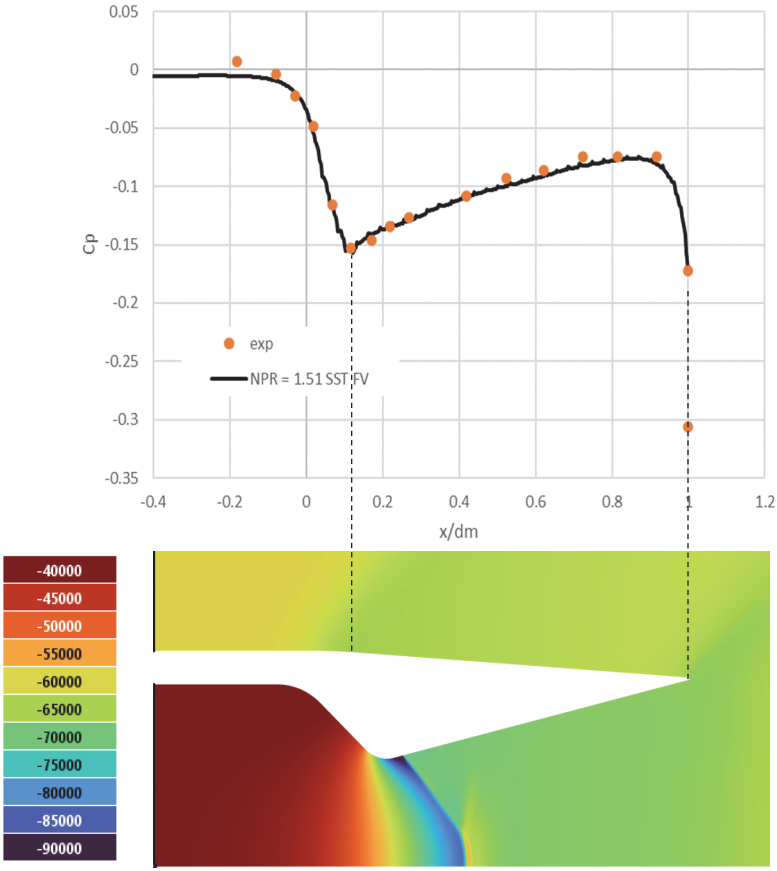

Рис. 1. Сверхзвуковая струя из сопла. График – распеределение коэффициента давления по поверхности сопла. Цветная заливка – относительное давление в плоскости сопла. Сравнение с экспериментом: точки – эксперимент, линия – расчет

Для моделирования жидкостей, в которых число Прандтля не равно единице, используется модель $k_\vartheta - \epsilon_\vartheta$, а также ее

модификация, «настроенная» на моделирование теплообмена в жидком натрии. Эта модель используется для расчета теплообмена в ядерных реакторах нового поколения на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

Модификация известной модели турбулентности SST, учитывающая сжимаемость среды, позволяет с высокой точностью моделировать дальнодействующий след сверхзвукового сопла. Приводиться сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных, полученных в [3] и в [4]. Сравнение с экспериментом НАСА по распределению давления на стенке сопла приводится на рис. 1, сопло имеет на выходе число маха M=1.2, параметр NPR=1.51 (отношение давления внутри сопла к окружающему).

Для моделирования задач взаимодействия жидкости и конструкции FlowVision имеет информационный обмен с различными российскими и зарубежными конечно-элементными кодами (APM, Fidesis, Abaqus, Nastran), которые позволяют проводить расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций. Приведено моделирование флаттера крыла самолета и генерации акустических колебаний автомобильной шины.

Литература

1. Аксёнов А.А. FlowVision: Индустриальная вычислительная гидродинамика // Компьютерные исследования и моделирование. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 5-20.
2. Жлуктов С.В., Аксёнов А.А., Кураносов Н.С. Моделирование турбулентных сжимаемых течений в программном комплексе FlowVision // Компьютерные исследования и моделирование, 2023, т. 15, № 4, с. 805-825
3. Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Кундасев С.Г. Расчётно-экспериментальное исследование газодинамической структуры сверхзвуковой перерасширенной струи // Вестник НГУ. Серия: Физика. – Том 8, выпуск 4. – 2013. – С. 84-92.
4. Carson, Lee, Experimental and analytical investigation of Axisymmetric supersonic cruise nozzle geometry at Mach numbers from 0.60 to 1.30 // NASA Technical Publication -1953, Document ID 19820006179, 1953