

Распараллеливание вычислений для задач отрывного обтекания тел с дисковыми надстройками

В.Т.Калугин, С.В.Стрижак

В работе рассмотрены проблемы, которые возникают при разработки параллельной версии программы, для задач пространственной дозвуковой аэродинамики с использованием библиотеки OpenMP. Моделирование течения газа выполнено на базе уравнений RANS, замкнутых с помощью k-ε модели, и метода крупных вихрей с моделью вихревой вязкости Смагоринского. Для построения сетки используется многоблочная технология в основе, которой лежит разбиение расчетной области на ряд простых блоков. Исследуется структура отрывного течения, и проводится сравнение с экспериментом для случая обтекания дозвукового диффузора и аппарата-зонда.

Математическое моделирование пространственных отрывных течений является актуальной задачей и играет важную роль в проектировании различных технических устройств, таких как диффузоры, летательные аппараты, диагностические приборы и другие. В данной работе предложен алгоритм расчета турбулентных течений несжимаемого газа для цилиндрических тел.

Исследуемый алгоритм реализован в виде программного комплекса для моделирования обтекания тел на базе вычислительной системы с общей памятью. Вычислительная реализация основана на подходе, когда каждый блок рассчитывается на отдельном процессоре с дальнейшим межблочным обменом данными. Основными модулями программы являются подпрограммы для построения геометрических объектов, задания граничных условий, стыковки блоков, физических моделей среды. Для построения сеток используется алгебраический метод. Стыковка между блоками оформляется в виде специальных граничных условий – условий сопряжения или склейки.

Для дискретизации уравнений RANS выбирается метод конечных объемов и процедура коррекции давления SIMPLE. Разностная схема имеет второй порядок точности по времени и пространственным координатам. Алгоритм SIMPLE, где необходимо решать систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для значений трех составляющих значений скорости, давления и параметров модели турбулентности, также подвергается распараллеливанию. СЛАУ решаются с помощью итерационного метода Стоуна.

Представлены результаты численного моделирования нестационарного трехмерного турбулентного течения для цилиндрических тел с дисковыми надстройками. Моделирование выполнено для тел, подобных экспериментальным моделям в дозвуковой аэродинамической трубе МГТУ им. Н.Э.Баумана и Университета Сага, Япония при числах $Re=(2...8) \times 10^5$. Рассматриваются тела цилиндрической формы с двумя дисками, соответствующие аппарату – зонду, и тела с одним диском, для случая дозвукового диффузора. Количество расчетных блоков для построение многоблочной сетки составляет от 10 до 16 для различных тел. Количество расчетных узлов выбирается равным 8×10^5 .

Для расчетов используется двухпроцессорный сервер (процессоры Intel Xeon X5160) с операционной системой Linux SLES 10. Программный код написан на языке программирования Фортран, совместно с библиотекой OpenMP, и является кросс-платформенным при использовании препроцессора компилятора.

Численные результаты позволили объяснить сложную пространственную картину течения между двумя дисками и в донной области исследуемого тела, которую возможно получить только с использованием специального экспериментального оборудования на базе PIV и LDA.

Визуализация результатов, например, построение изоповерхностей вихревой вязкости проводилось в пакете Matlab. Программный комплекс продемонстрировал высокую эффективность. Для целей дальнейшего исследования обтекания подобных тел создается собственное программное обеспечение для многопроцессорных вычислений с использованием стандартов MPI и OpenMP.