

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ГАЗОДИНАМИКИ

Ю.И.Димитриенко, А.А. Захаров
МГТУ им. Н.Э. Баумана

В работе изложены результаты разработки программного комплекса «Сигма», разработанного на кафедре ФН-11, и предназначенного для моделирования нестационарных газовых потоков в областях сложной формы с криволинейными границами. Программный комплекс имеет структуру, подобную известному коммерческому программному пакету CFX, и общим системам обеспечения газодинамических расчетов [1–6]: оно позволяет проводить моделирование двумерных, осесимметричных и трехмерных течений идеального и вязкого газа в декартовых и цилиндрических системах координат.

Программный комплекс состоит из модуля трехмерного геометрического моделирования области, обтекаемой газовым потоком; модуля задания свойств, параметров и начальных данных; генератора адаптивной конечно-разностной сетки (препроцессора), расчетного модуля (процессора) и визуализатора (постпроцессора). Также имеется поддержка интеграции со стандартными программами визуализации расчетов и постпроцессорной обработки данных типа GMESH.

Каждый модуль является независимым программным продуктом, реализованным с помощью объектно-ориентированного подхода, и поддерживает возможность создания расширений. Обмен информацией между модулями осуществляется при помощи файлов. Блок генерации сеток и расчетный модуль могут выполняться в параллельном режиме на многоядерном компьютере с общей памятью.

Модуль препроцессора имеет графический интерфейс, позволяющий визуально создавать геометрические образы, выделять границы и области для последующего задания на них граничных и начальных условий, запускать процесс генерации сетки. Графическая среда позволяет сначала создавать заготовку исходной области из примитивов, а затем модифицировать ее, приближая к форме реальной поверхности расчетной области (рис. 1). Примитивы являются объемными геометрическими фигурами, ограниченными шестью поверхностями — гранями. Реализованы следующие типы примитивов: прямоугольный параллелепипед, сектор цилиндра и цилиндрический примитив в виде O-сетки (см. рис. 2б). Форма примитивов определяется опорными точками бисплайнов, образующих грани примитивов. Модификация заготовки происходит с помощью перемещения опорных точек (рис. 1). Перемещение осуществляется либо мышью на экране дисплея (для приближенного задания формы тела), либо с помощью непосредственного ввода новых координат опорных точек.

С каждым примитивом связан набор характеристик: тип начального условия в области, охватываемой примитивом; типы граничных условий на его гранях; габариты примитива в адаптивных (вычислительных) и физических координатах. Введенную геометрию области можно сохранять в файл.

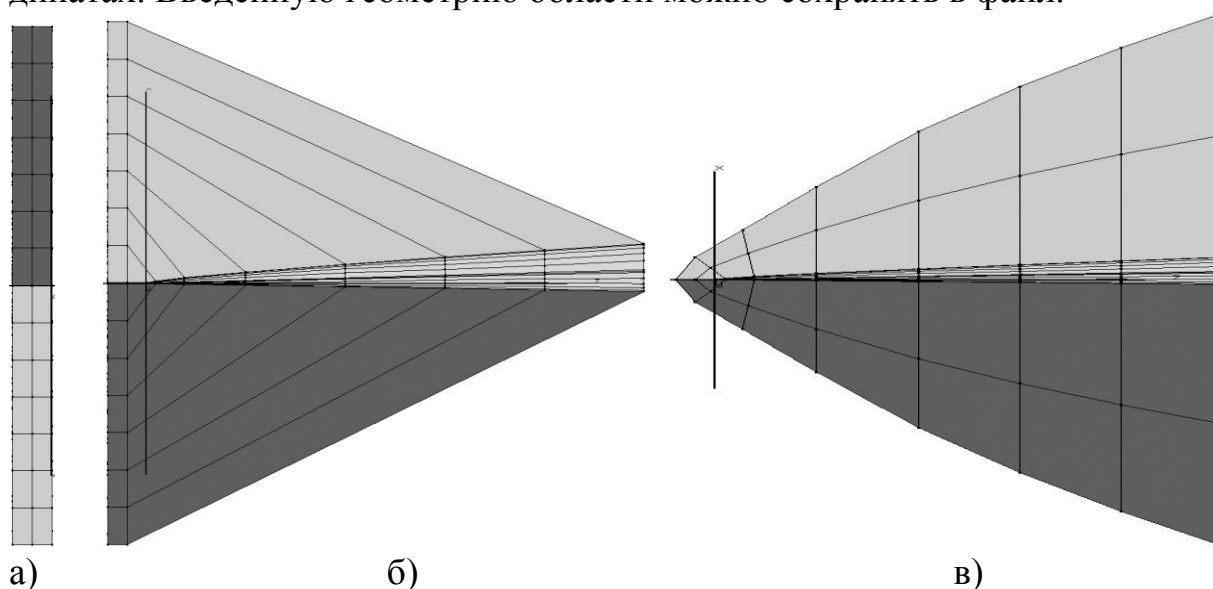


Рис.1. Процесс создания геометрии расчетной области из примитивов.

На основании полученной геометрии примитивов и определения их характеристик, а также на основе введенных количеств разбиений по трем координатным направлениям, осуществляется генерация адаптивной сетки (рис. 2), имеющей ленточную структуру [4]. Имеется возможность сгущения сетки к заданным границам расчетной области (см. рис. 2а). Поддерживаются три управляющие сгущением функции.

Основой вычислительного алгоритма расчетного модуля являются модифицированные конечноразностные схемы типа Мак–Кормака и TVD. Перед запуском расчёта производится считывание файла сетки, связывание начальных и граничных значений газодинамических параметров в узлах сетки с определенными типами начальных и граничных условий в узле; вводится необходимая информация для проведения расчетов, относящаяся к физической постановке задачи, используемому вычислительному алгоритму. Далее, методом установления, проводится численный расчет. Кроме того, имеется возможность вести расчет до определенного момента времени. Во время работы расчетный модуль выдает различную информацию о ходе расчёта, а также с определённой периодичностью выполняет сохранение результатов. Полученные результаты применяются при построении различных зависимостей, а также они могут использоваться как начальные условия для других расчетов. В этом случае большинство физических параметров может быть переопределено, что дает существенную гибкость при решении задач.

Математическая модель в расчетном модуле имеет переменную структуру, так что части уравнений, описывающие различные физические эффекты,

вызываются только тогда, когда эти эффекты включены в решаемую задачу. Расчетный модуль имеет возможность полного управления счетом [2].

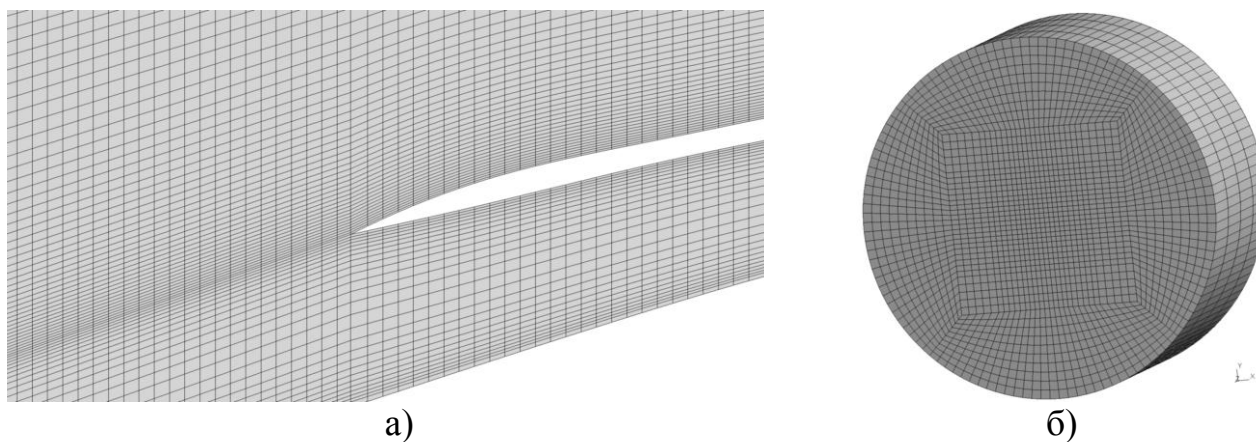


Рис.2. Примеры сгенерированных регулярных адаптивных сеток.

Вывод результатов в расчетном модуле может производиться для разных типов областей:

1) вывод результатов целиком для всей трехмерной геометрии расчетной области. В этом случае формируется файл с граничной поверхностной сеткой расчетной области и значениями в узлах этой сетки;

2) вывод результатов в различных сечениях расчетной области. Поддерживаются сечения, совпадающие с координатными плоскостями сгенерированной регулярной разностной сетки. Задание координатной плоскости производится при помощи фиксации одной адаптивной координаты в массиве узлов сетки. Выходной файл также представляет собой сеточную поверхность с полученными данными на ней;

3) вывод результатов вдоль определенных линий, проходящих через расчетную область. Линия должна являться координатной линией в адаптивной системе координат и задаваться фиксацией двух адаптивных координат в массиве узлов сетки. Выходной файл представляет собой текстовый файл с информацией о декартовых координатах узлов и значениях рассчитанных физических параметров в них;

4) вывод результатов в определенном узле сетки. Вывод результатов производится на каждой итерации, то есть для заданной точки можно полностью проследить динамику процесса установления физических параметров. Узел задается значениями своих адаптивных координат.

На рис. 3–6 представлены установившиеся распределения параметров газового потока в канале сверхзвукового воздухозаборника, полученные с помощью программного комплекса «Сигма». Предполагалось, что центральное тело воздухозаборника закреплено с помощью трех пилонов, отстоящих равномерно друг от друга. В результате моделирования получено, что при обтекании пило-

нов образовывались локальные участки повышенных значений плотности и давления (рис. 3) во всей области сужения канала; пилоны затормаживали осевое течение (рис. 4), образовывалось небольшое угловое течение (рис. 5). В непосредственной близости у границ пилонов резко возрастала температура (рис. 6).

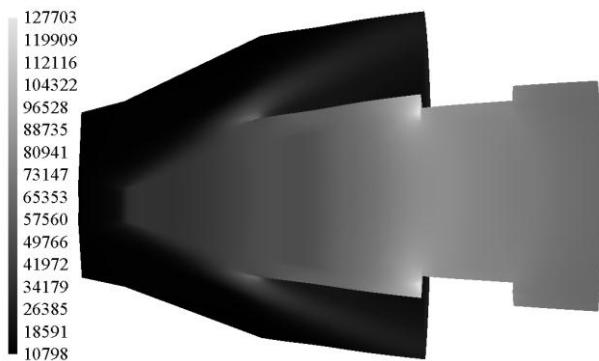


Рис.3. Давление [Па]

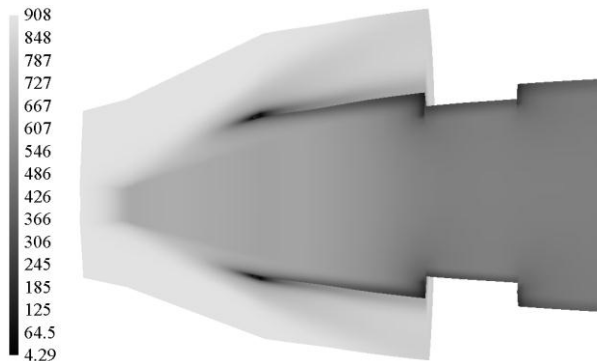


Рис.4. Осевая скорость [м/с]

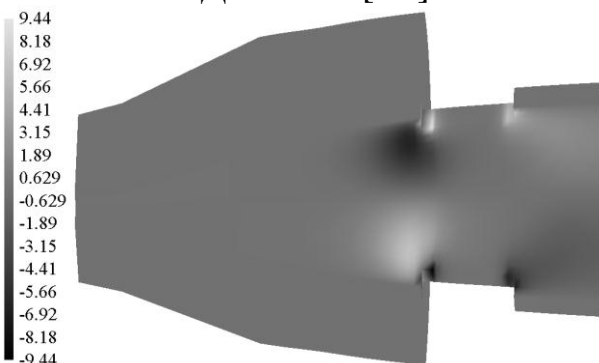


Рис.5. Угловая скорость [м/с]

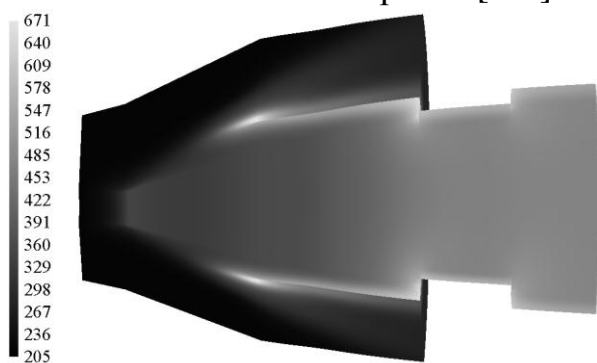


Рис.6. Температура [К]

Выводы: разработанный программный комплекс Сигма позволяет осуществлять в полуавтоматизированном режиме полный цикл работ по численному моделированию нестационарных двумерных, осесимметричных и трехмерных течений идеального и вязкого газа в декартовых и цилиндрических системах координат в областях сложной формы с криволинейными границами.

Список литературы:

1. *Б.Н. Четверушкин, Е.В. Шильников.* Вычислительный и программный инструментарий для моделирования трехмерных течений вязкого газа на многопроцессорных системах // Журнал вычислительной математики и математической физики. - 2008. – Т. 48, №. 2. - С. 309-320.
2. *И.Э. Иванов, И.А. Крюков, И.В. Терехов.* Объектно-ориентированная программная система подготовки данных и визуализации результатов газодинамических расчетов // Математическое моделирование.- 2001. - Т. 13, №. 7. - С. 110-115.

3. *И.Э. Иванов, И.А. Крюков, И.В. Терехов.* Особенности построения программной системы обеспечения газодинамических расчетов // Математическое моделирование.- 2002. - Т. 14, №. 8. - С. 28-30.
4. *Ю.И. Дмитриенко, А.А. Захаров* Метод ленточных адаптивных сеток в газовой динамике. -М.: Изд-во НТЦ «Университетский», 2008. -175 с.
5. *Ю.И. Дмитриенко, А.А. Захаров* Автоматизированная система для моделирования газовых потоков методом ленточных адаптивных сеток // Информационные технологии. - 2009. №. 6. - С. 12-16.
6. *С.Н. Ануфриев, А.Ю. Дзаганя, А.А.Захаров.* Применение технологий Microsoft для численного моделирования многомерных нестационарных газодинамических процессов. // Труды Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Москва, 2-3 марта 2006 г. - С. 50-52.