

**Решения ANSYS-CFD в авиакосмических технологиях:
динамические перестраиваемые сетки в расчетной аэродинамике.**

**Decisions ANSYS-CFD in aerospace technologies: moving deforming
meshes by calculating the aerodynamic.**

Колесник В.П.
ValeriyK@emt.ru

Компания ЗАО «ЕМТ-Р» Россия, 111672, Москва, ул. Суздальская, 46
Адрес в интернете: www.emt.ru

АННОТАЦИЯ

This problem uses the moving deforming mesh capability to simulate the release of store from a moving body. ANSYS FLUENT's [1] code Six Degree of Freedom (6DOF) [2, 3] solver computes external forces and moments such as aerodynamic and gravitational forces and moments on an object. These forces are computed by numerical integration of pressure and shear stress over the object's surfaces. This technique, along with the ANSYS FLUENT's solver and the use of dynamic meshes, can be readily applied to many useful applications. 6DOF User Define Functions (UDF) [4] is used to calculate the motion of the body. The six degrees of freedom UDF works by calculating the aerodynamic forces on the moving body, adding ejector forces and gravity forces, then calculating the velocity components of the body. This UDF is written to work for both 2D and 3D cases.

Keywords

ANSYS FLUENT, Moving deforming mesh, 6DOF, UDF, CFD

1. ВВЕДЕНИЕ

Процесс создания любой CFD-модели состоит из нескольких этапов, главными из которых являются следующие [5]:

- выбор физической модели;
- выбор и обоснование допущений и упрощений физики и геометрии задачи;
- создание или импорт геометрической модели в сеточный генератор;
- построение расчетной сетки в сеточном генераторе [6,7]
- импорт расчетной сетки в решатель и задание граничных, начальных условий, а также параметров решателя расчетного кода;
- получение собственно решения;
- анализ результатов и верификация модели.

В данной статье объяснена методология использования подвижной динамической перестраиваемой сетки, способной моделировать подвижную поверхность [2,3,5] объекта, например: падающей бомбы, профиля крыла с элементами механизации, старта ракеты из “шахты-укрытия”. Расчетная модель **6DOF** (шести степеней свободы- **Six Degree of Freedom**) и решатель (Solver) кода [1] ANSYS FLUENT позволяет вычислять внешние силы, моменты, а именно аэродинамическую подъемную, гравитационную силы, приложенных к объекту

исследования и вязкостное трение. Эти силы вычисляются численным интегрированием давления и напряжений по поверхностям объекта. Такая методология вычислений с использованием решателя кода ANSYS FLUENT [1], а также внутреннего алгоритма подвижных динамических перестраиваемых сеток этого кода [2,3,5] может быть применена ко многим расчетным приложениям для авиакосмических технологий. Модель 6DOF использует функции пользователя (User Define Functions UDF [4]). В этой модели реализована возможность выполнять расчеты для 2D и для трехмерных случаев геометрии рабочей области моделирования. Расчетные сетки могут быть построены в сеточных генераторах ANSYS GAMBIT [6] или ANSYS ICEM CFD [7] с разбивкой булевыми операциями на “связанные” объемы, последующим сеточным описанием пограничных слоев (вблизи стенок и на границах), сгущений расчетных ячеек в проблемных областях и заданием граничных условий. После загрузки “робастной” расчетной сетки в код ANSYS FLUENT, выполняется задание свойств материалов, выбор решателя, моделей турбулентности, схем дискретизации и параметров дивергенции (невязок решения). Модель 6DOF и ее идентификаторы, “защитые” в макросах пользовательского файла на языке “C++”, подсоединяются к расчетному модулю путем подготовки и загрузки динамической библиотеки (dll) с помощью внешнего компилятора (MS Visual C++).

Решатель кода ANSYS FLUENT и модель 6DOF для расчета перемещения и углового вращения центра приложения силы тяжести использует значения сил и моментов.

ANSYS FLUENT использует неструктурированную сеточную технологию. Это значит, что сетка может состоять из элементов разнообразной формы: типа четырехугольников и треугольников для 2-х мерных моделей, в том числе и некомформного интерфейса, а для 3-х моделей это могут быть гексайдеры, тетраидеры, призмы и пирамиды.

Численные схемы, реализованные в коде и два мощных решателя (для версий 6.3.26 и 12.0.3 это “Pressure-Based” и “Density-Based”) гарантируют точные результаты расчетов на ANSYS FLUENT. Имеется возможность подключения матричного алгоритма (coupled) для решения основных уравнений, который повышает устойчивость численного решения, а применение “non-interactive” временной схемы значительно уменьшает время решения для переходных процессов.

Главная идея рассматриваемой 6DOF-модели, заключена в использовании уравнения, описывающем перемещение и движение центра силы тяжести в инерционной системе координат (уравнение 1.1) [1]:

$$\dot{\vec{v}} = \frac{1}{m} \sum \vec{f}_G \quad (1.1)$$

где $\dot{\vec{v}}$ -ускорение центра тяжести, m -масса, и \vec{f}_G -вектор силы тяжести.

Угловое ускорение объекта, $\dot{\vec{\omega}}_B$, вычисляется, с использованием координат тела

$$\text{(уравнение 1.2) [1]: } \dot{\vec{\omega}}_B = L^{-1} \left(\sum \vec{M}_B - \vec{\omega}_B \times L \vec{\omega}_B \right) \quad (1.2)$$

где L - тензор инерции (определяется компонентами L_{ij} , где $i, j=1, 2, 3$). При этом L_{ij} -представляет осевые моменты инерции твердого тела относительно оси OX_i , $\vec{\omega}_B$ -вектор угловой скорости, \vec{M}_B - вектор моментов(трансформированный вектор), \vec{M}_G -вектор до конвертирования. Для того чтобы трансформированный вектор мог использовать инерционную систему координат, используется матричное преобразование вида: $\vec{M}_B = R\vec{M}_G$ (1.3), где R - матрица локальной трансформации:

$$\begin{bmatrix} C_\theta C_\psi & C_\theta C_\psi & -S_\theta \\ S_\phi S_\theta C_\psi - C_\phi S_\psi & S_\phi S_\theta S_\psi + C_\phi C_\psi & S_\phi C_\theta \\ C_\phi S_\theta C_\psi + S_\phi S_\psi & C_\phi S_\theta S_\psi - S_\phi C_\psi & C_\phi C_\theta \end{bmatrix}, \quad \text{и в}$$

общепринятых терминах: $C_\chi = \cos(\chi)$ и $S_\chi = \sin(\chi)$.

Операция трансформации – это операция с умножением матрицы 3x3. Вектор, представляющий 3D данные, содержит вершину или вектор нормали, помноженный на матрицу трансформации, а результатом является трансформированный вектор. Чтобы это сделать, спецпроцессор трансформаций 6DOF, реализованный на UDF использует стандартную линейную алгебру для умножения матриц. Перед тем, как трансформировать вектор, строится матрица трансформаций. Эта матрица содержит всю необходимую информацию для конвертирования данных вектора в новую координатную систему. Промежуточная матрица создается для всех операций (масштабирование, вращение и смещение), которые должны быть выполнены над вектором, а затем все промежуточные матрицы перемножаются, чтобы получить единственную матрицу(матрицу трансформаций), которая и будет содержать итоговый результат всех операций.

Используемые обозначения углов ϕ , θ , и ψ являются Эйлеровыми углами, которые представляют следующую последовательность вращений: вращение вокруг X-оси, Y-оси и Z-оси. Значения угловых и поступательных ускорений вычисляются из уравнений 1.1 и 1.2 путем численного интегрирования [2,3]. Угловая и поступательная скорости используются для вычислений положения и обновлений позиций подвижной поверхности перемещающегося объекта.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ CFD КОДОМ “ANSYS FLUENT”

2.1. Расчет падения модельной бомбы из отсека летящего самолета

Генерация расчетной сетки для этой задачи производилась в препроцессоре ANSYS GAMBIT 2.4.6 [6]. В расчетной 2D области в виде прямоугольника длиной 32.3 м, шириной 26.6 м была построена треугольная расчетная сетка с пограничными слоями (рис.5) вблизи твердых границ бомбы. Размерность сетки составила 11418 ячеек. Масса бомбы со смещенным центром тяжести (задается в файле UDF) была равна 800 кг. Модельная среда - идеальный газ. На границах

расчетной области использовались граничные условия типа “Pressure-inlet”(слева) и “ Pressure-Outlet” (справа), ”Wall” (на поверхности корпуса бомбы, поверхностях овального отсека и нижней части фюзеляжа самолета - верхняя горизонтальная плоскость), “Symmetry” (в нижней горизонтальной плоскости симметрии задачи). На рис. 1 показан фрагмент расчетной сетки в области модельного овального отсека самолета с шестью пограничными слоями (рис.5) вблизи стенки бомбы для корректного расчета эффектов вязкостного трения. Для решения уравнений Навье-Стокса использовался метод конечного объема, численная схема высокого порядка, “Realizable k-ε” модель турбулентности для замыкания уравнений.

Задача решалась в нестационарной постановке на 5000 итераций с шагом 0.001 секунд в режиме распараллеливания решателя на 3-х узлом кластере ЗАО “EMT R” с узлами Intel Core2 Duo E6850 EM64T Family . Memory 4096 MB. 1Gigabit Ethernet под управлением OS Red Hat Linux 4.6 ES с использованием HP MPI 2.2.5.

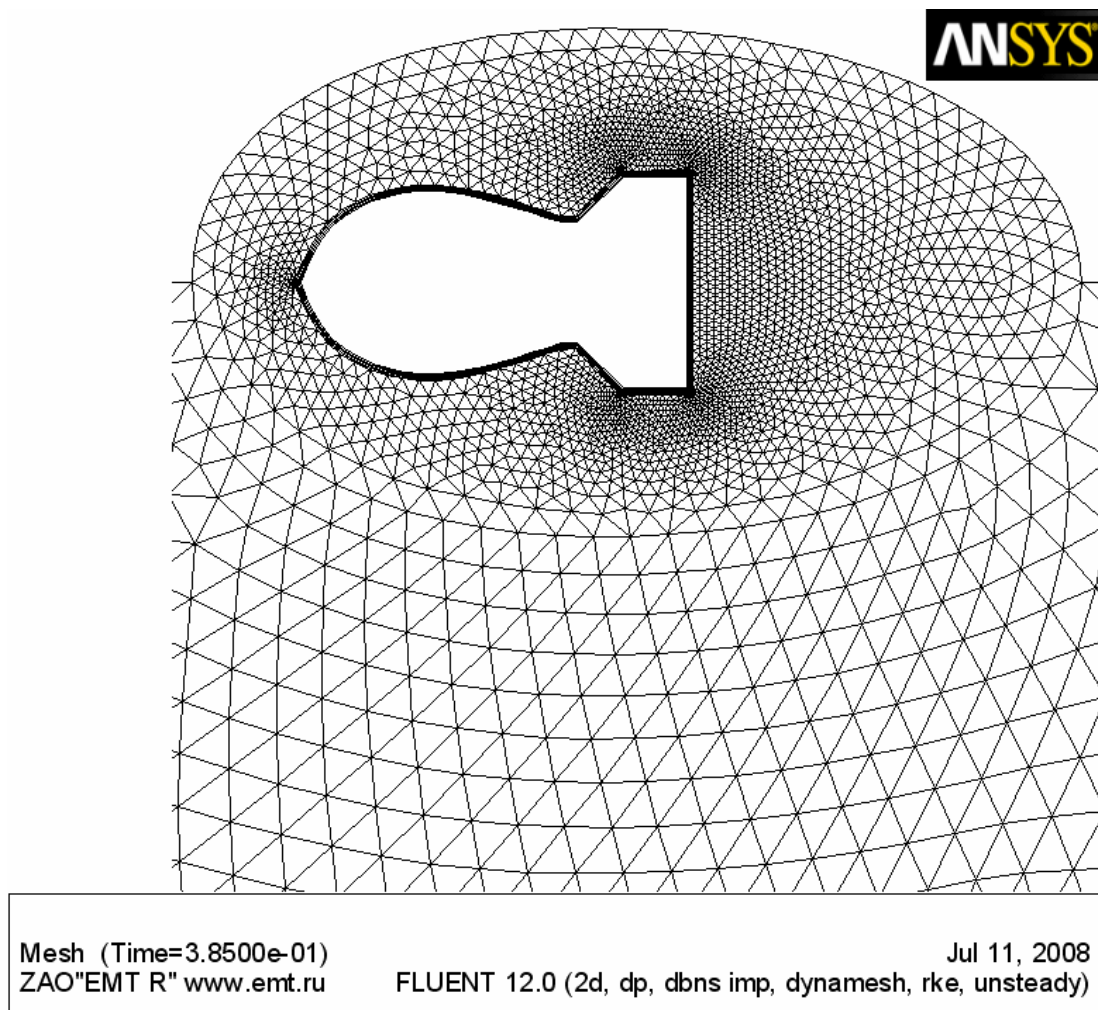


Рис. 1 Фрагмент расчетной динамической перестраиваемой сетки в начальный момент времени 0.385 секунды, соответствующий началу сброса (начало вылета из отсека самолета)

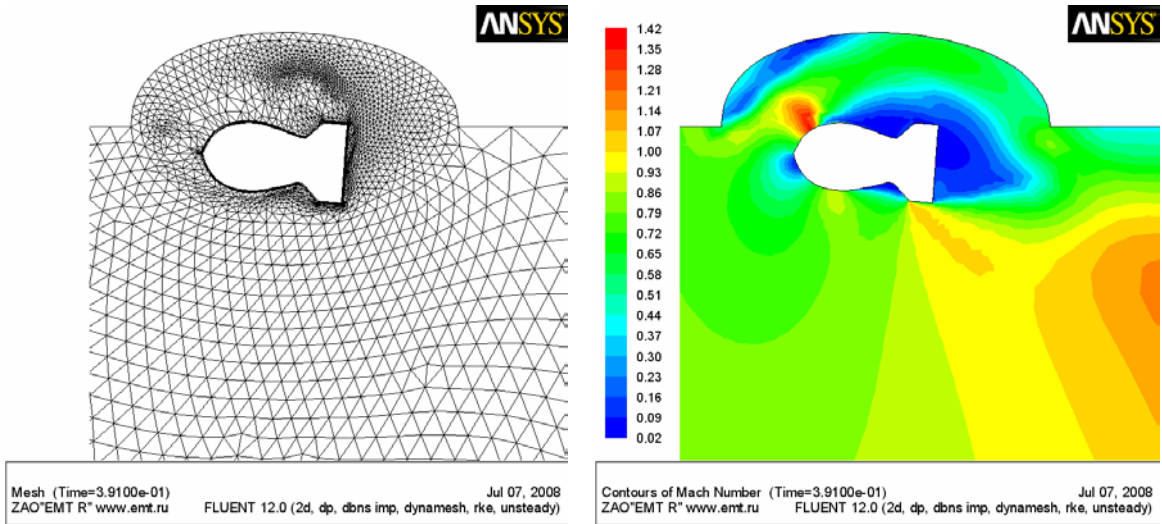


Рис. 2 Фрагмент расчетной сетки для 2D поля числа Маха в момент времени 0.39 секунды.

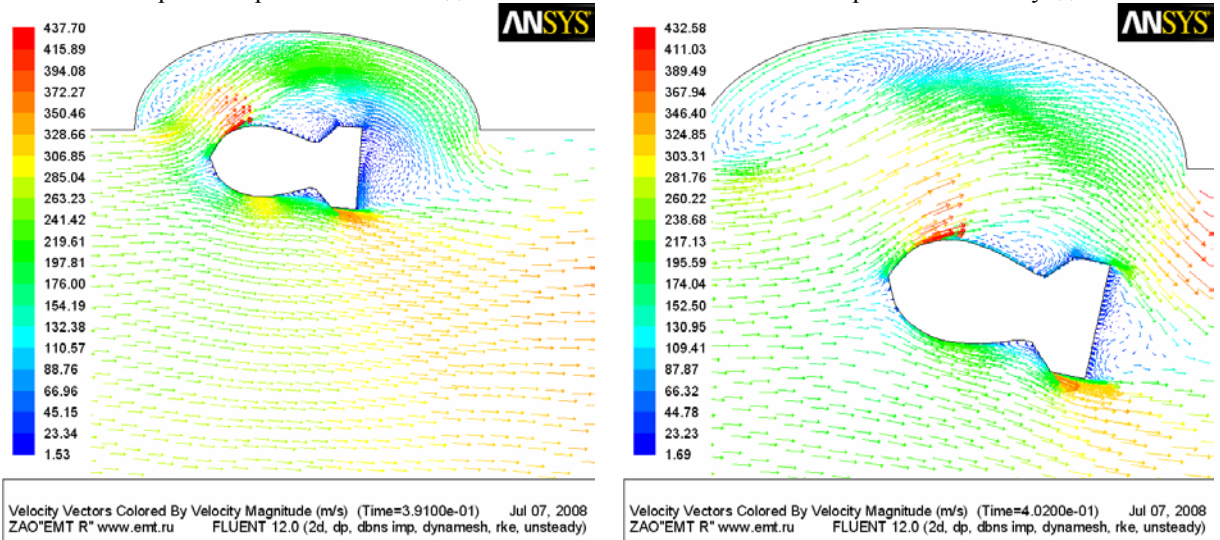


Рис. 3 Фрагмент векторных 2D полей в моменты времени 0.39 и 0.40 секунд

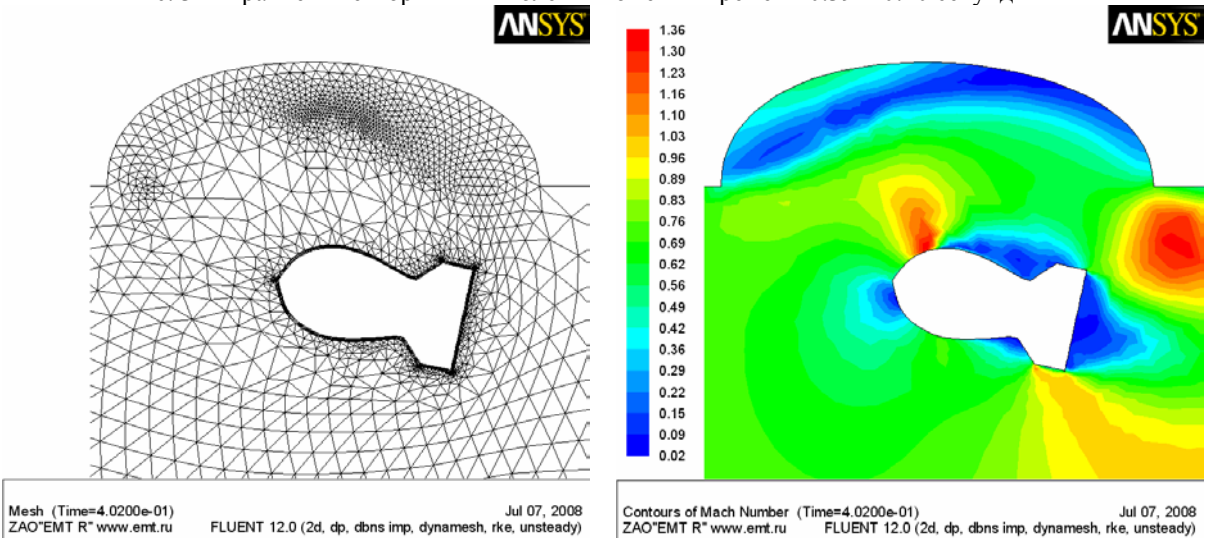


Рис. 4 Увеличенный фрагмент расчетной динамической перестраиваемой сетки и числа Маха в момент времени 0.40 секунды.

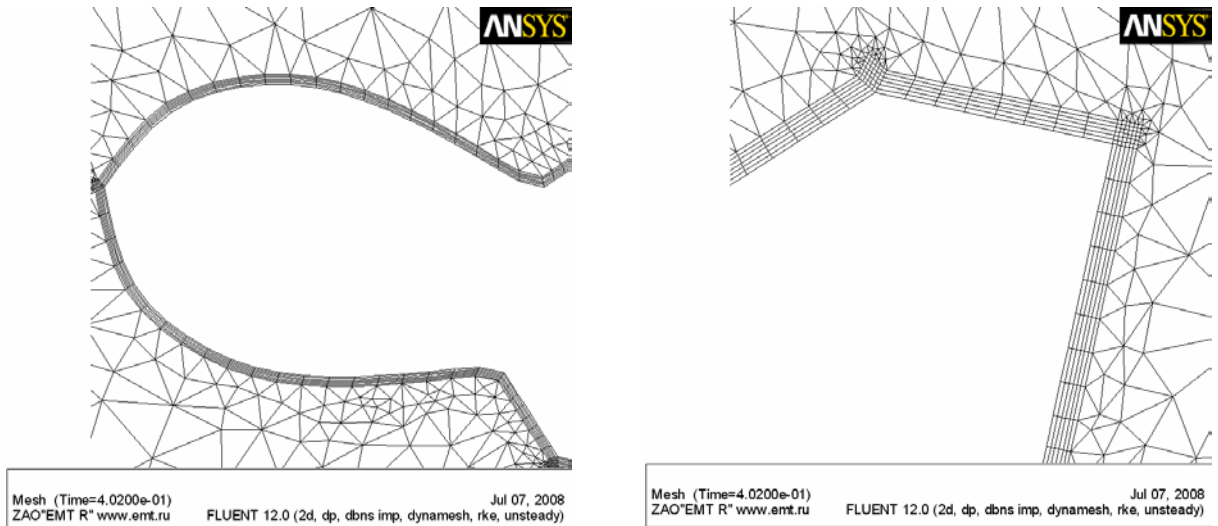


Рис. 5 Фрагменты расчетной динамической перестраиваемой сетки для пограничного слоя

Алгоритм работы динамической перестраиваемой сетки кода ANSYS FLUENT устроен так, что за все время расчета структура разбиения и количество пограничных слоев вблизи стенок бомбы и стабилизатора остаются неизменными. Это же замечание относится и к случаю, если бы пограничные слои задавались на неподвижных границах расчетной области (в этой задаче этого не делалось).

Модель 6DOF реализована функциями UDF и для 3-х мерных областей:

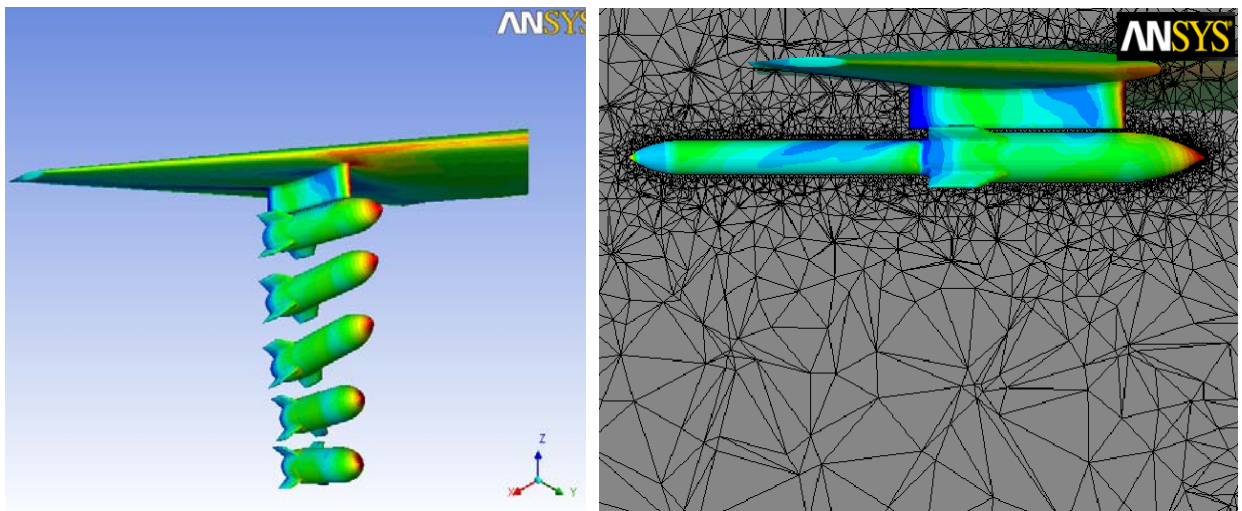


Рис. 6 Картина временных срезов 3D поля давления падающей авиабомбы.

2.2. Расчет пуска модельной ракеты из “шахты-укрытия”

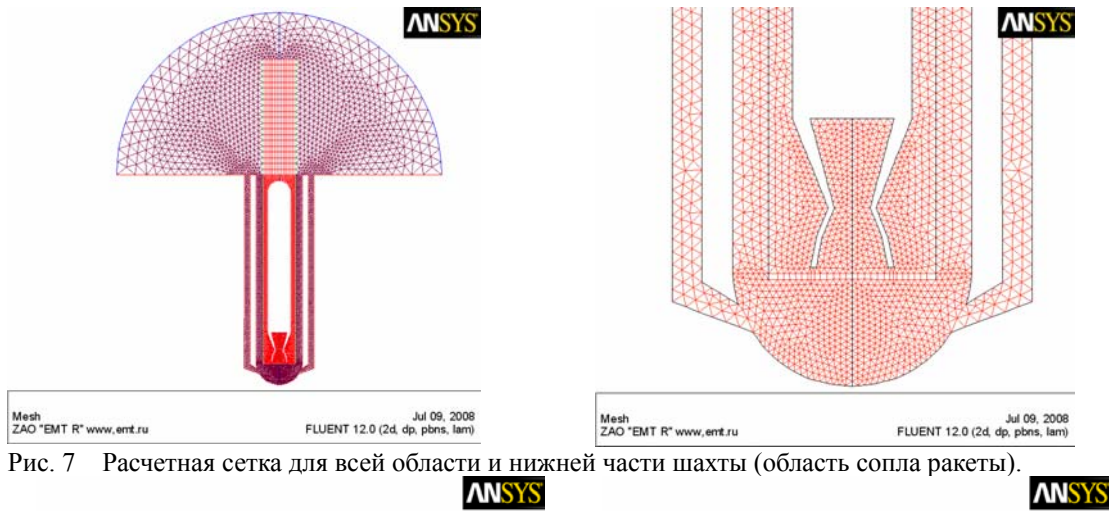


Рис. 7 Расчетная сетка для всей области и нижней части шахты (область сопла ракеты).

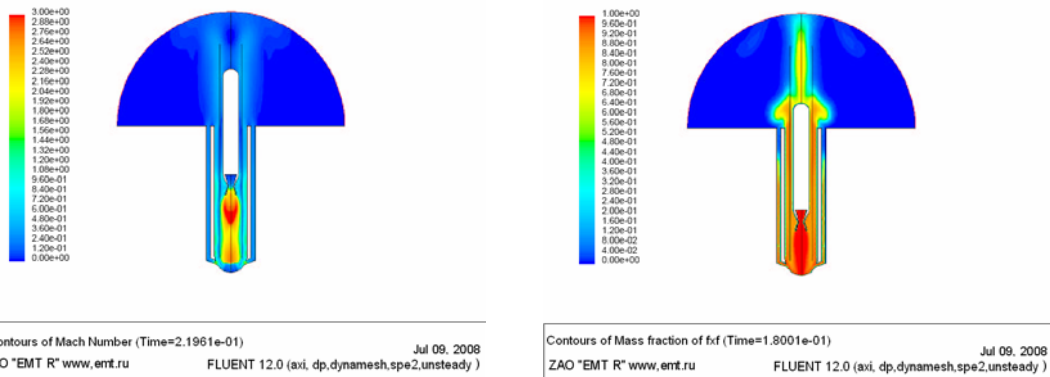


Рис. 8 2D поле числа Маха (слева) в момент 0.22с и массовые доли продуктов сгорания ($t=0.18с$).

2.3. Расчет обтекания профиля крыла с элементами механизации.

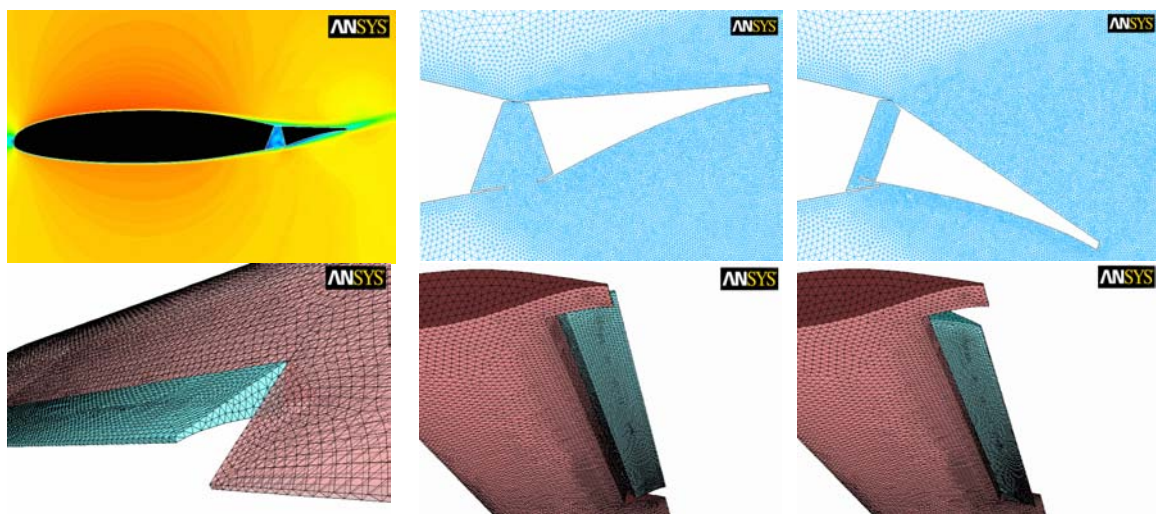


Рис. 9 Расчет профиля крыла с элементами механизации.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показанные в статье результаты модельных расчетов указывают на неоспоримые преимущества моделей UDF и языка CCL, встраиваемых в технологии динамических сеток, которые реализованы в расчетных кодах линейки ANSYS CFD (ANSYS FLUENT и ANSYS CFX) по сравнению с другими коммерческими кодами (STAR-CD) и расчетными пакетами для аэродинамики.

Компания ЗАО “ЕМТ Р” является официальным дистрибьютором линейки программных продуктов ANSYS CFD в России, странах СНГ и успешно решает вопросы лицензирования, обучения, технического сопровождения, “он-лайн поддержки” и расчетного консалтинга, в том числе и для авиакосмических технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ANSYS FLUENT 6.3. Theory Manual. 2005. Fluent Inc. Central Source Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, USA . <http://www.fluent.com>
2. A. A. Shabana. “Computational Dynamics”. John Wiley and Sons, New York, 1994.
3. D. O. Snyder, E. K. Koutsavdis, and J. S. R. Anttonen. “Transonic store separation using unstructured CFD with dynamic meshing”. Technical Report AIAA-2003-3913, American Institute of Aeronautics and Astronautics. 33th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit, 2003.
4. ANSYS FLUENT 6.3. UDF Manual. 2005. Fluent Inc. Central Source Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, USA . <http://www.fluent.com>
5. Д.Д.Юрченко “Подвижные, деформируемые и перестраиваемые сетки в ANSYS CFX и FLUENT”. Журнал “ANSYS Advantage”. Русская редакция | Весна 2008. Стр. 38-45. ЗАО “ЕМТ Р”, Москва. <http://www.ansyssolutions.ru>
6. ANSYS GAMBIT 2.4. User’s Guide. 2005. Fluent Inc. Central Source Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, USA. <http://www.fluent.com>
7. ANSYS ICEM CFD 11.0 SP1 <http://www.ansys.com/products/icemcfd.asp>
<http://www.emt.ru/news.php?id=16>