

# Моделирование трансзвуковых и сверхзвуковых течений

*Н.Владимилова, М.Стародубцев*

- газодинамическая задача: постановка и геометрия
- топология и размер расчетной сетки
- результаты расчетов, сравнение с экспериментальными данными

Рассмотрена газодинамическая задача численного моделирования внешнего сверхзвукового и трансзвукового обтекания изделия, общий вид которого представлен на слайде 3.

Численные расчеты проводились на персональном компьютере.

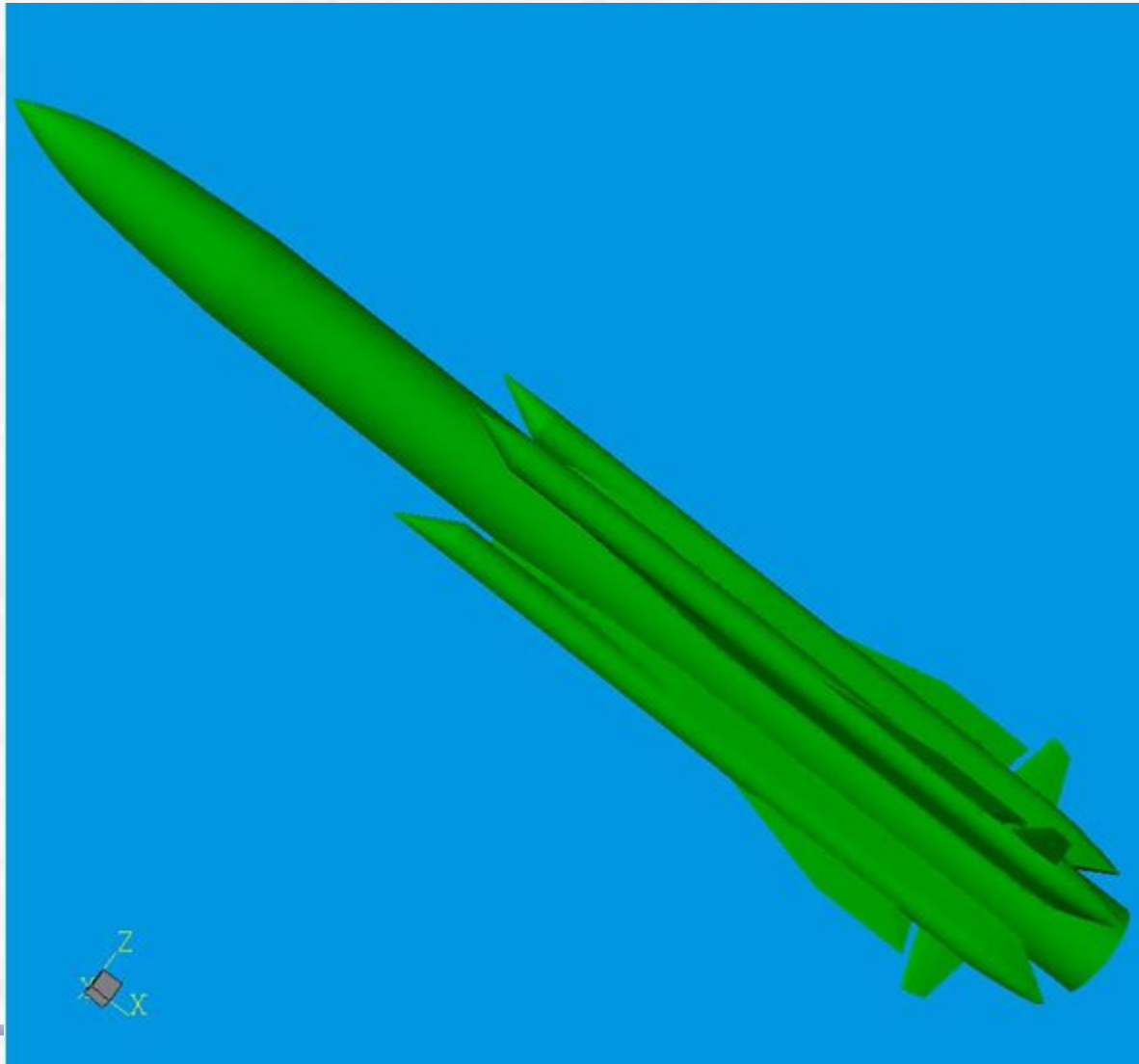
Для решения пространственных уравнений Навье-Стокса, описывающих сжимаемые вязкие турбулентные течения, использовался метод конечного объема, численная схема высокого порядка для конвективных и вязких членов, модель турбулентности *SST k- $\omega$* , позволяющая моделировать течения с развитыми отрывными зонами.

Расчетная область представляла собой параллелепипед, грани которого удалены от поверхности обтекаемого изделия на 8 калибров.

На стенках параллелепипеда, моделирующего «бесконечную» расчетную область, заполненную потоком воздуха, использовались граничные условия типа “Inlet”, “Outlet” (для сверхзвуковых режимов), “Opening” (на дозвуковых режимах), “Symmetry” и “Wall” (на боковых стенках).

# Изделие «Missile-77»

(ОАО Корпорация Тактическое Ракетное Вооружение)

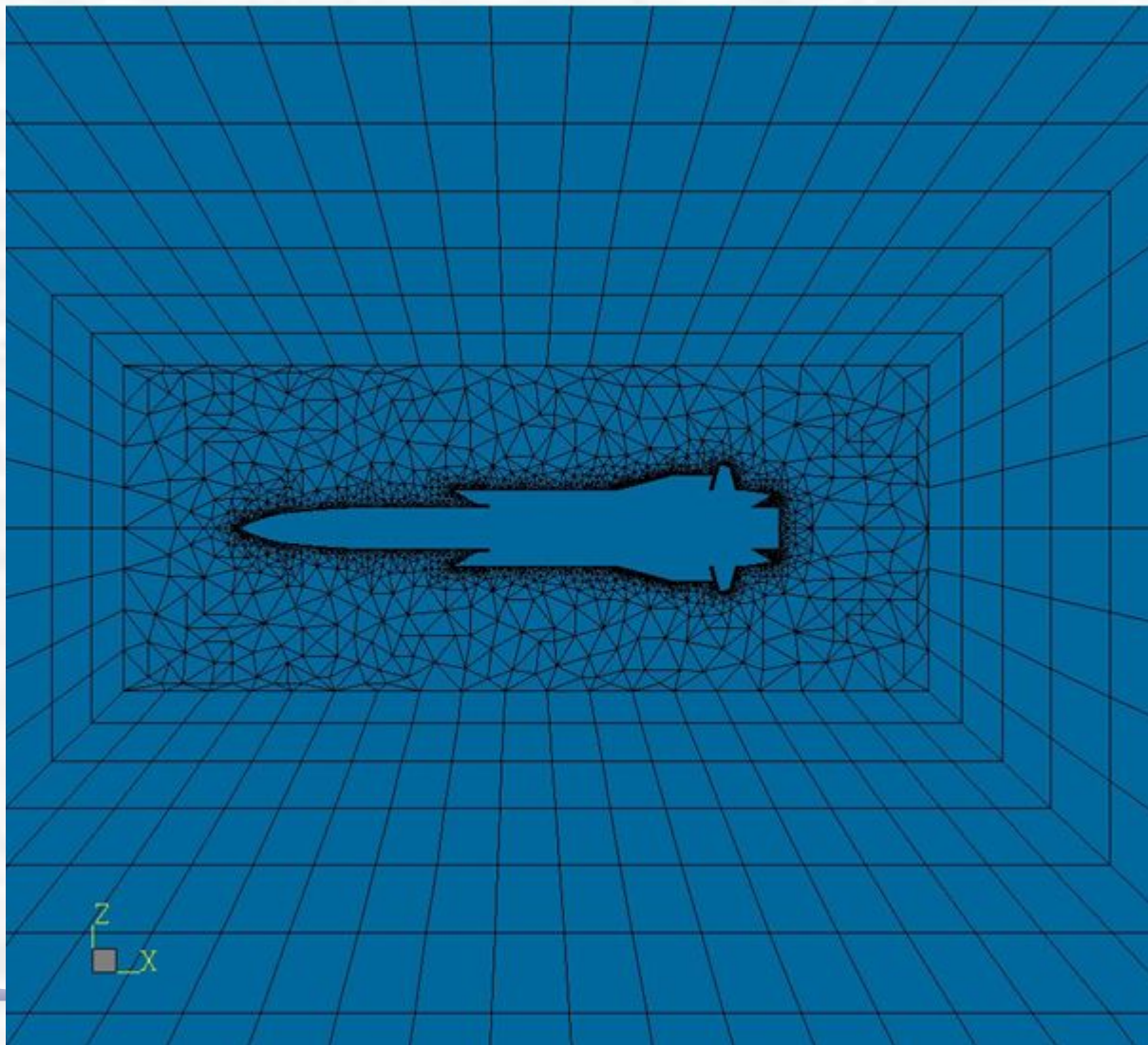


Построена пространственная неструктурированная гибридная сетка, состоящая из 107 607 узлов, 494 768 ячеек (485 248 тетраэдров, 9 044 гексаэдра, 476 пирамид), при этом на поверхности рассчитываемого изделия генерировалась треугольная сетка.

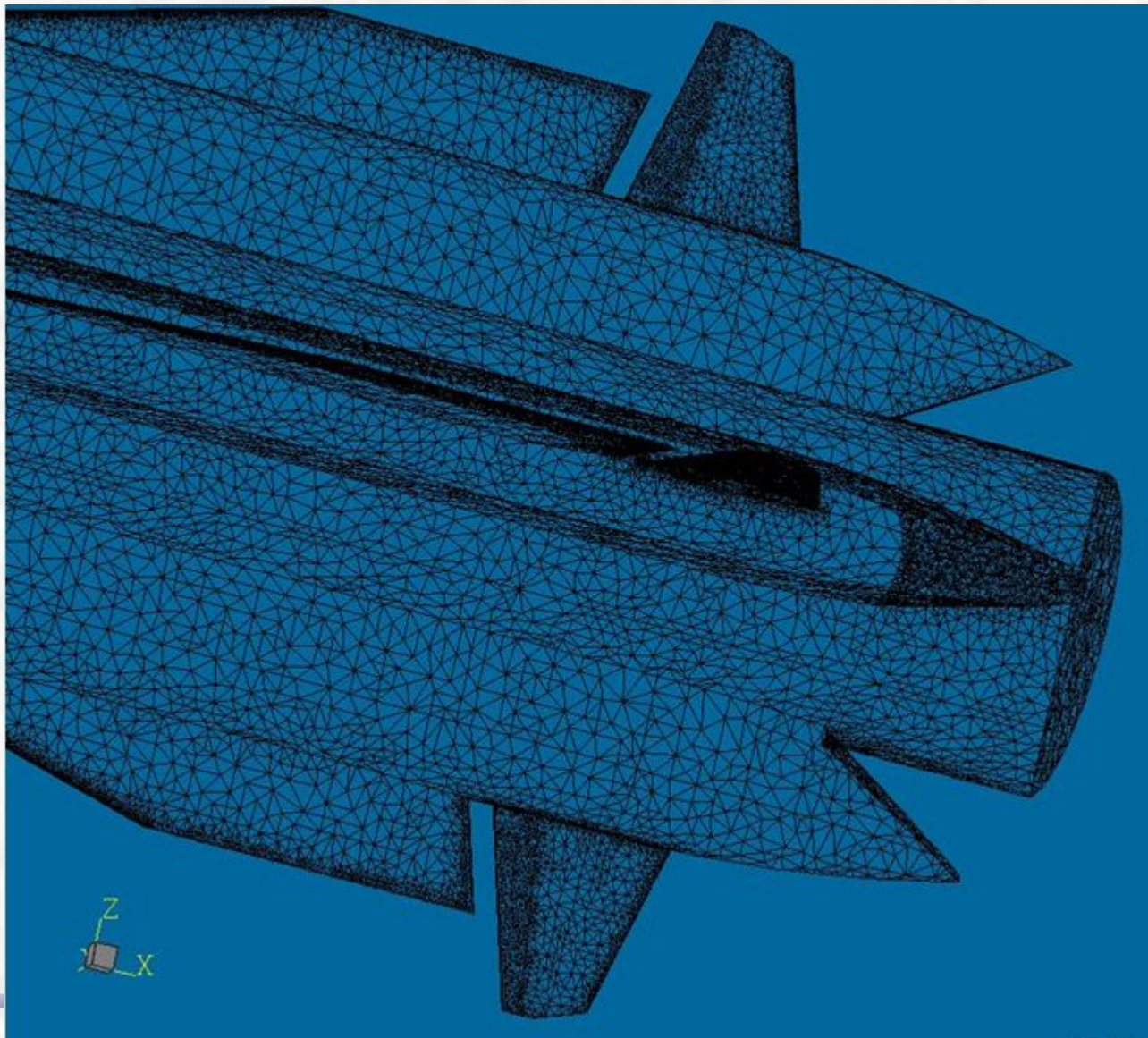
В области пограничного слоя в окрестности твердой поверхности тела и в местах резкого изменения кривизны поверхности (острые «носики» обтекателей и острые кромки на крыльях и оперении, слайды 5-6) делалось специальное «прижатие» и сгущение ячеек сетки.

Выбор такой топологии сетки обусловлен достаточно сложной геометрической формой изделия, для которой построение, например, многоблочной структурированной гексаэдральной сетки весьма проблематично.

Пространственная неструктурированная гибридная сетка: 107 607 узлов,  
494 768 ячеек (485 248 тетраэдров, 9 044 гексаэдра, 476 пирамид)



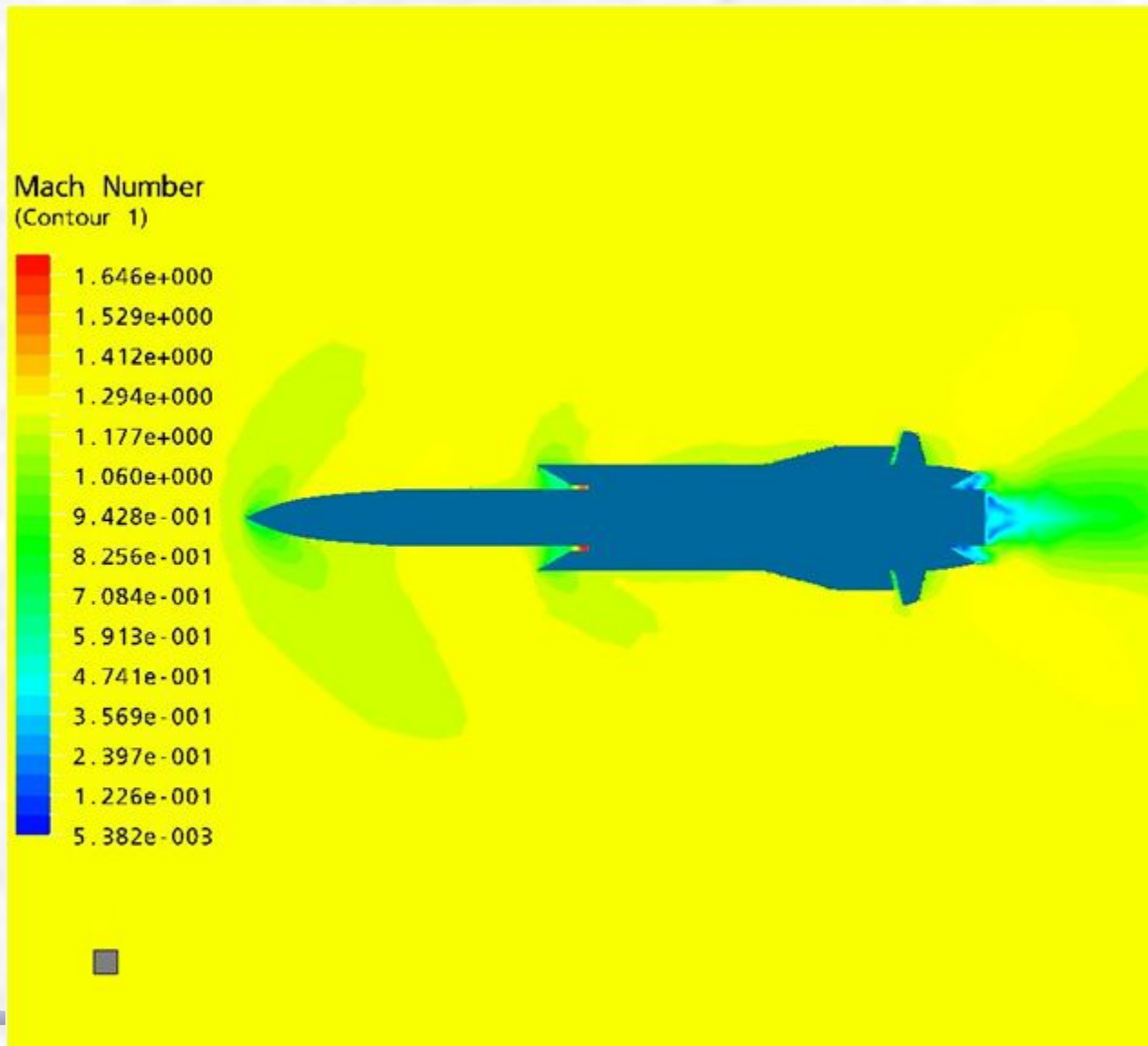
## Фрагмент треугольной сетки на поверхности изделия



Численные расчеты распределенных и интегральных характеристик изделия (в схеме «крест») проводились для угла атаки  $\alpha=6^\circ$  в диапазоне чисел Маха  $M=0.8-3.0$  и чисел Рейнольдса  $Re=(24-90)\cdot 10^6$ .

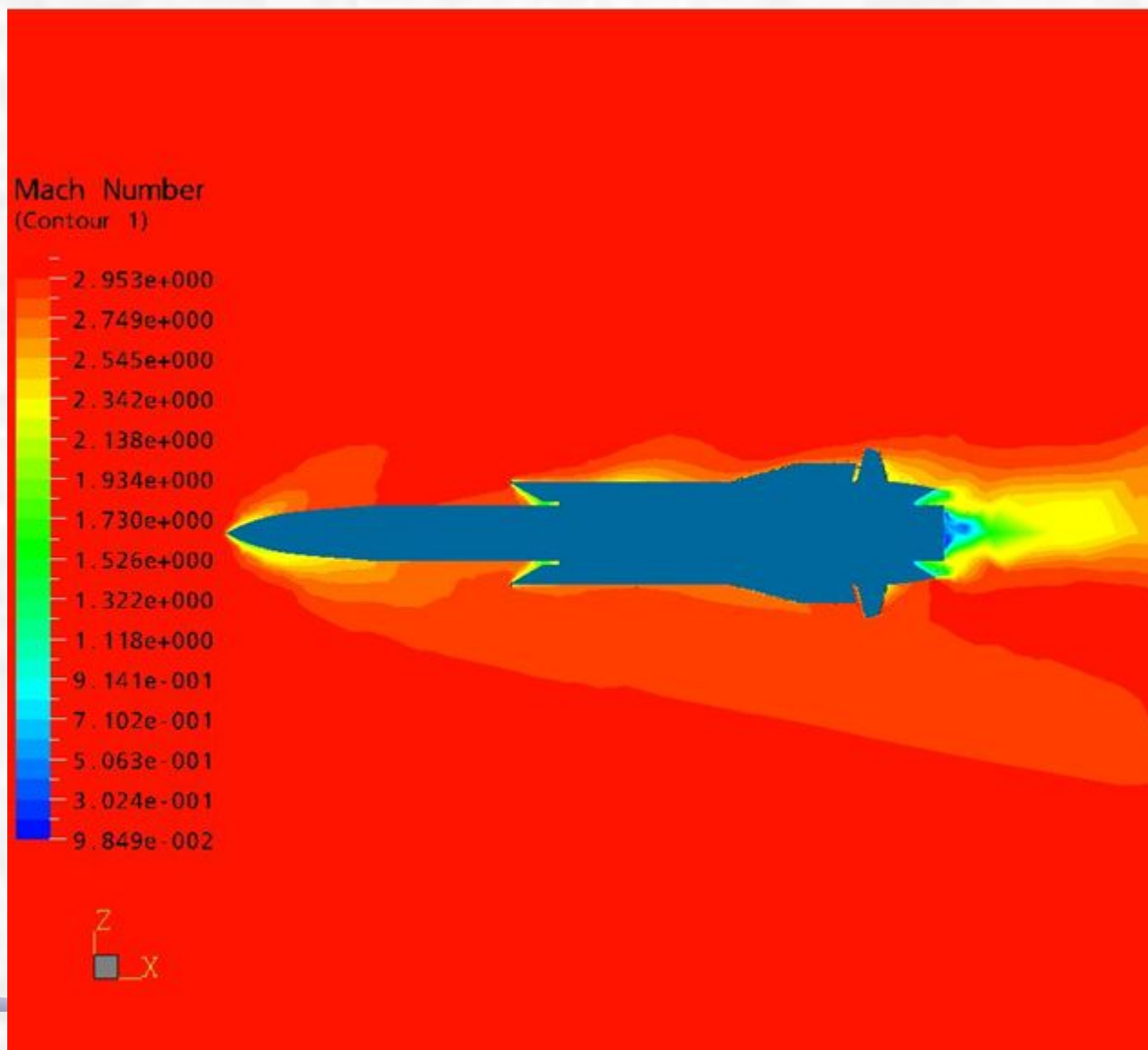
Результаты расчетов, а также сравнение с имеющимися экспериментальными данными представлены на слайдах 8-12. Как показал анализ расчетов, даже на достаточно «грубой» (порядка 100 тыс. узлов) неструктурированной гибридной сетке, построенной для изделия сложной конфигурации, удается получить достаточно достоверные численные результаты для интегральных аэродинамических характеристик, удовлетворительно согласующиеся с данными эксперимента.

# $M=1.2$ , $\alpha=6^\circ$ Распределение чисел Маха в плоскости симметрии

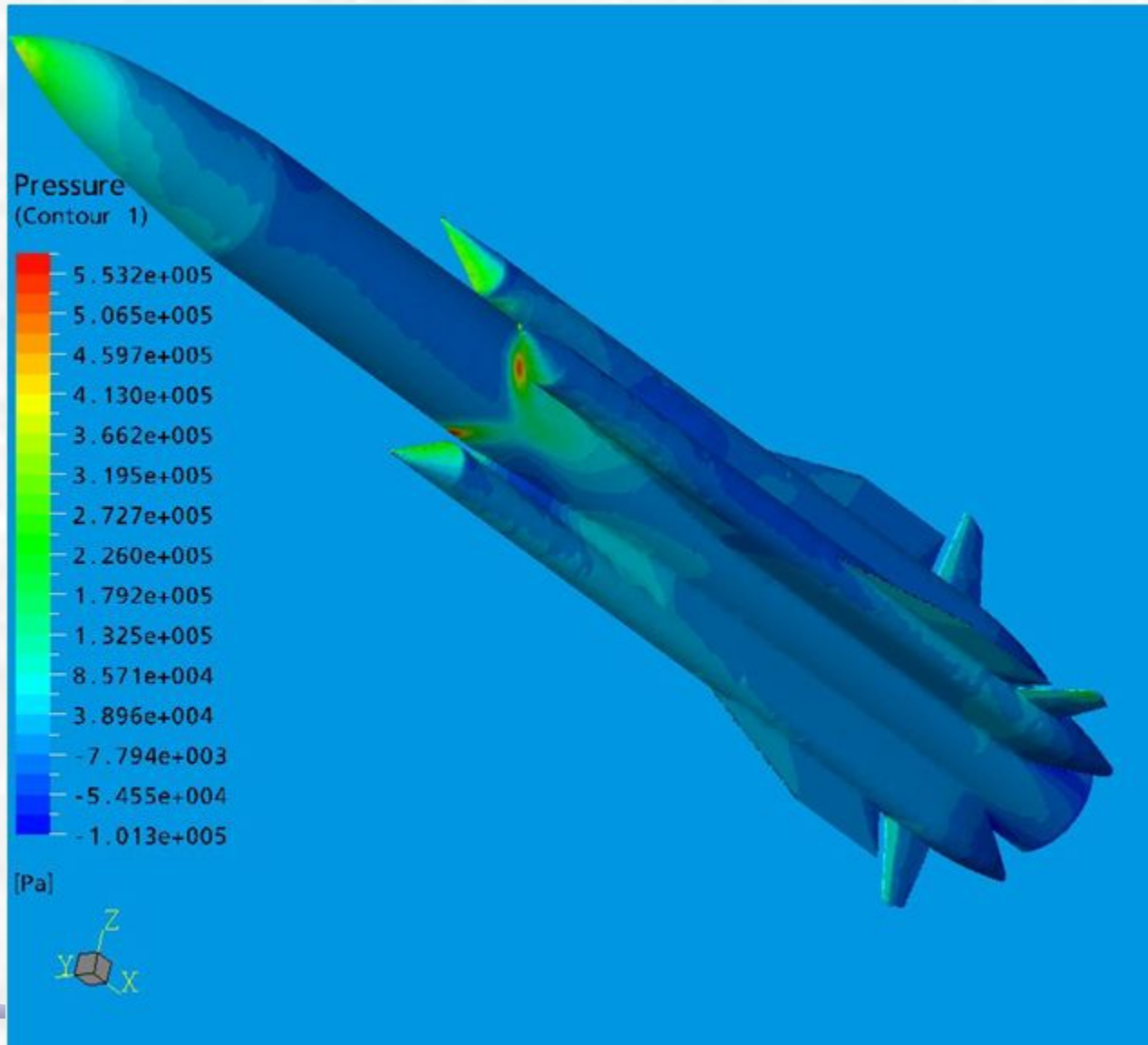




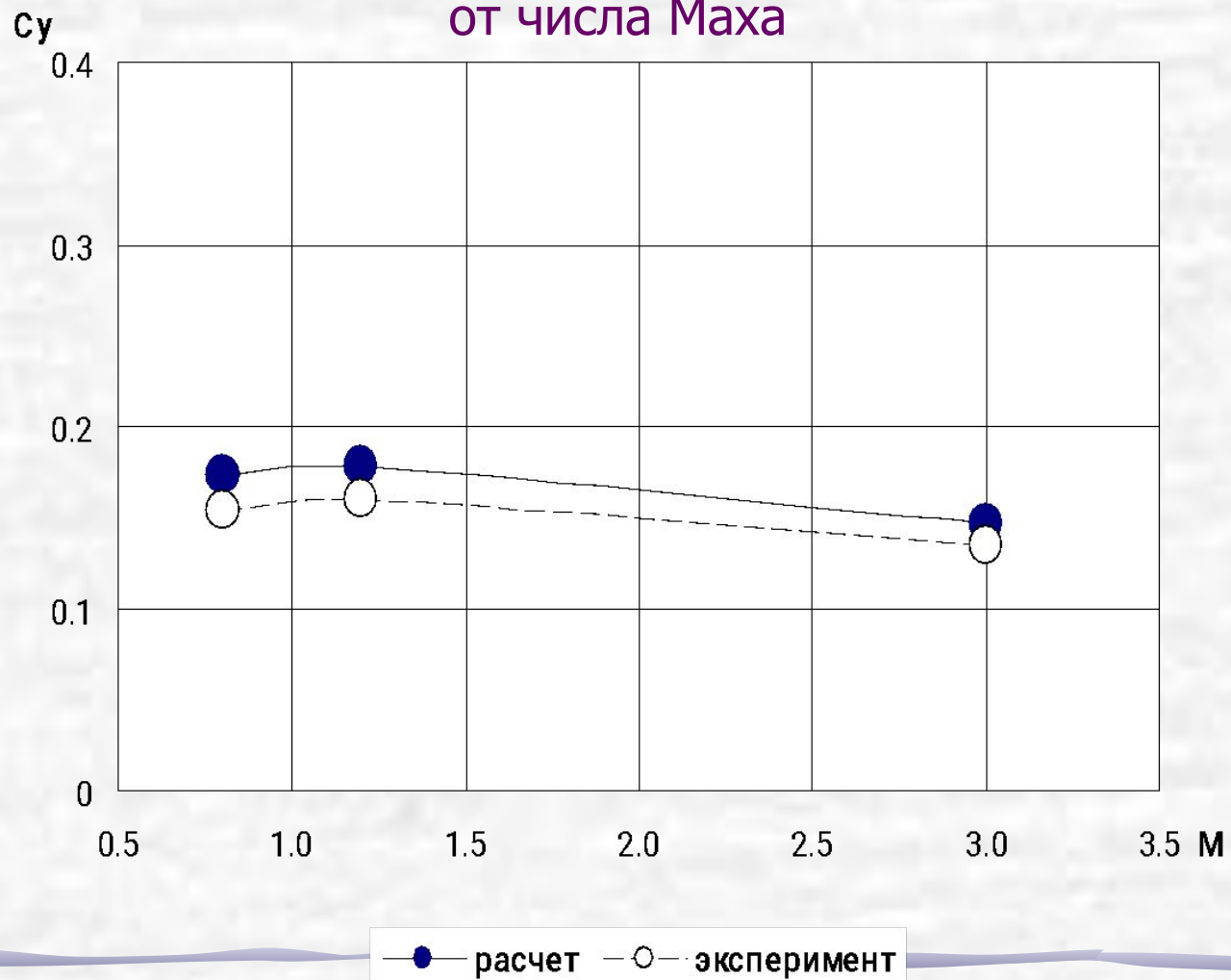
$M=3.0$ ,  $\alpha=6^\circ$  Распределение чисел Маха в плоскости симметрии



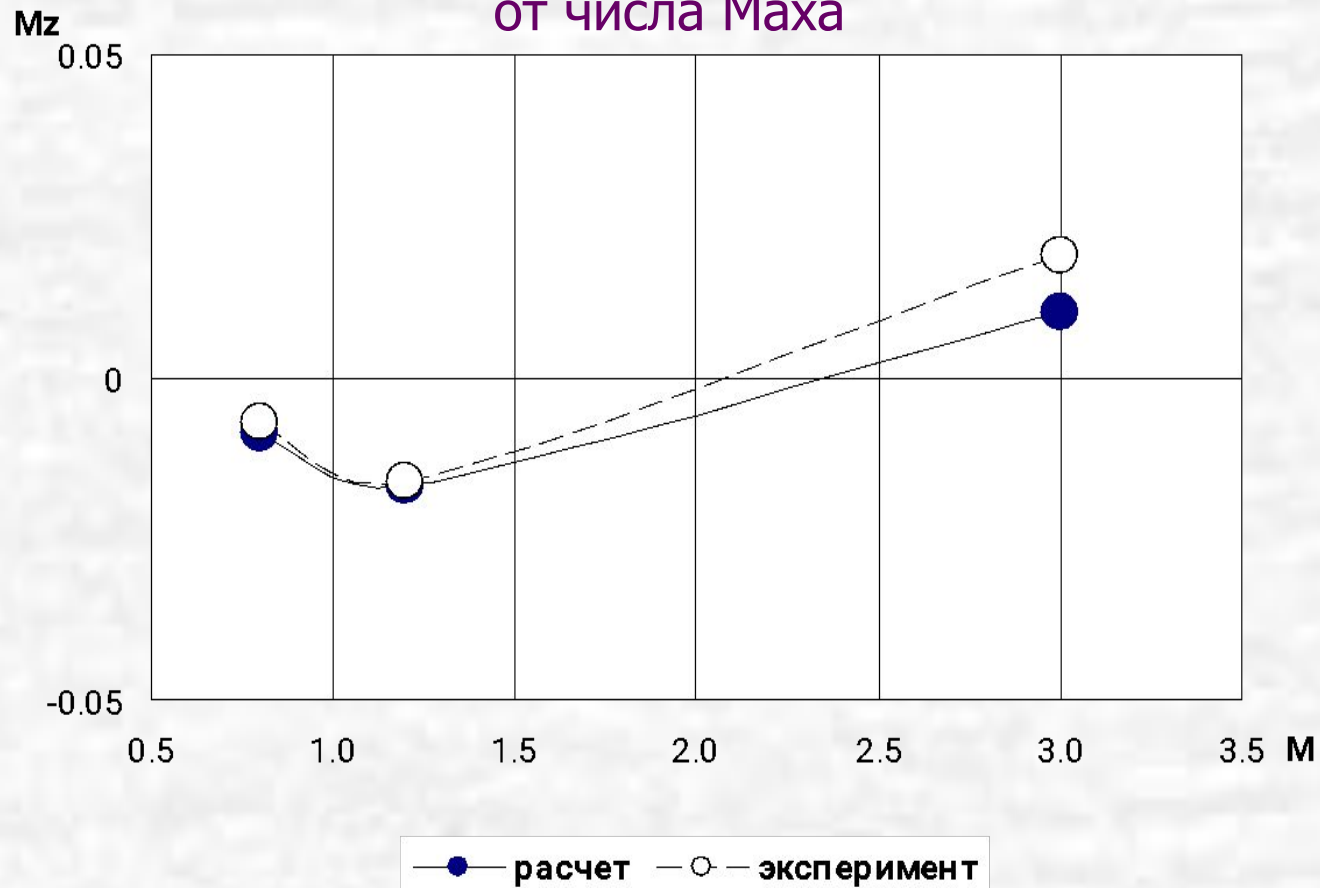
$M=3.0$ ,  $\alpha=6^\circ$  Распределение давления на поверхности изделия



## Зависимость интегральных аэродинамических характеристик от числа Маха



## Зависимость интегральных аэродинамических характеристик от числа Маха



Как видно, характер изменения по числам Маха рассчитанных значений коэффициентов подъемной силы и продольного момента изделия (в схеме «крест») достаточно хорошо согласуется с экспериментальными зависимостями, полученными для схемы «Х». Несколько завышенные расчетные значения  $C_u$  по сравнению с их экспериментальными величинами вероятнее всего обусловлены как некоторым отличием в обтекании конфигураций типа «крест» и «Х», так и сравнительно небольшим размером расчетной сетки и, соответственно, переразмеренными ячейками в отрывных областях и недостаточным «прижатием» сетки к стенкам и, как следствие, недостаточным детальным разрешением особенностей течения в пограничном слое и в протяженных зонах отрыва потока в торцевой части изделия. Для достижения более точных результатов и получения лучшей сходимости расчетных и экспериментальных данных необходимо проводить расчеты не на персональном компьютере, а на компьютерном кластере с объемом оперативной памяти 8-10 ГБ, на расчетных сетках с числом узлов 2-5 миллионов.