

Взаимодействие ударной волны с затупленным конусом при сверхзвуковом обтекании ($M=5.2$)

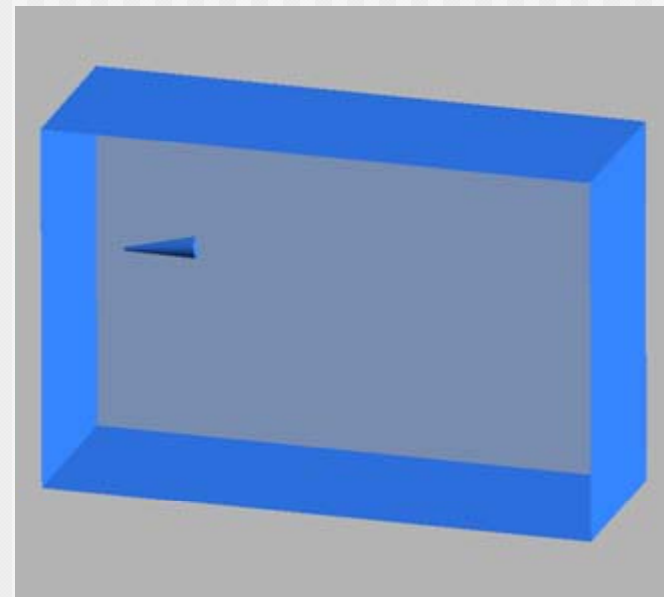
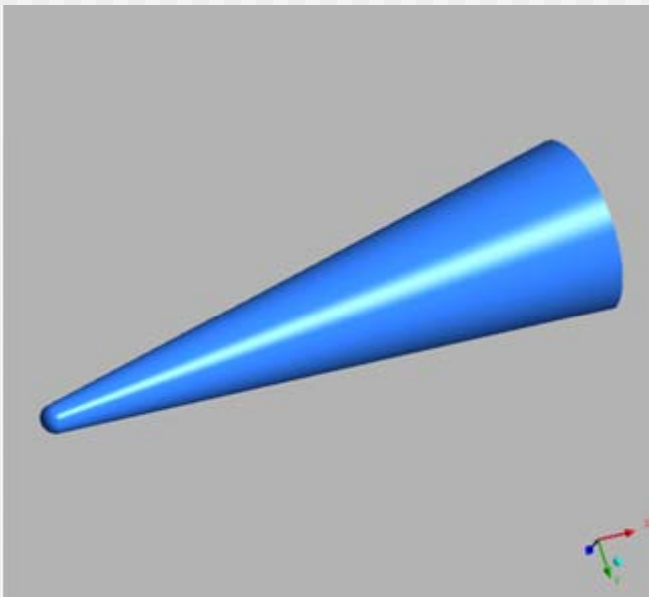
Н.Владимирова

- стационарная и нестационарная задачи: постановка, расчетная область и граничные условия
- топология и размер расчетной сетки (выполнено М.Стародубцевым)
- результаты расчетов

Рассмотрена задача взаимодействия ударной волны с затупленным конусом при сверхзвуковом обтекании ($M=5.2$).

Численное моделирование проводилось в стационарной и нестационарной постановке. Сначала было рассчитано стационарное установившееся сверхзвуковое ($M=5.2$) течение около конуса под углом атаки 1° , затем была рассмотрена нестационарная задача прохождения плоского фронта ударной волны с параметрами скорости $V=2400$ м/с, давления $P_{\text{фр}}=8.38$ бар и плотности $\rho=4.6$ кг/м³.

В качестве рабочей среды использовался идеальный газ. Общий вид геометрии конуса (угол полураствора 7° , длина 40 м) и расчетной области представлен на этом слайде.



Расчеты проводились на персональном компьютере Intel Pentium 4 CPU 2.00 GHz с объемом оперативной памяти 1 GB.

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

Для получения установившегося стационарного решения потребовалось осуществить 20 итераций; для расчетной сетки, имеющей около 500 тыс. узлов, это соответствует 2-2.5 часам работы персонального компьютера класса Pentium 4.

Нестационарный расчет проводился с шагом по времени 0.003 с, время одной итерации составило 9 мин., для прохождения ударной волны через всю расчетную область (300 м) требуется 0.125 с физического времени.

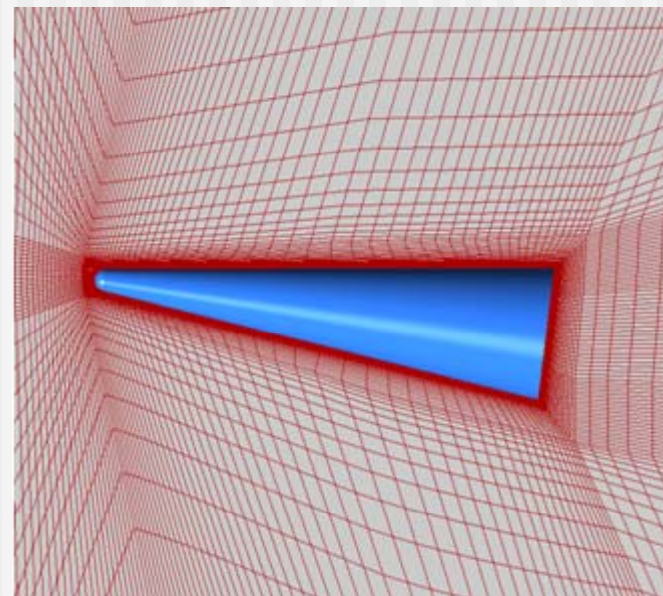
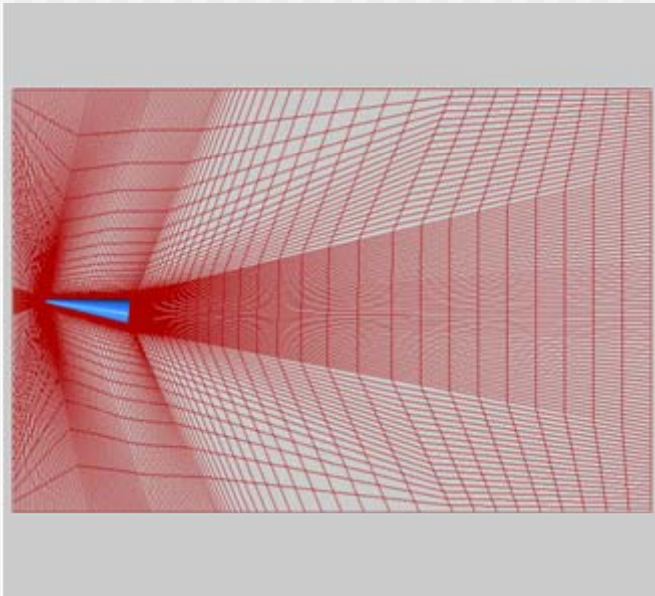
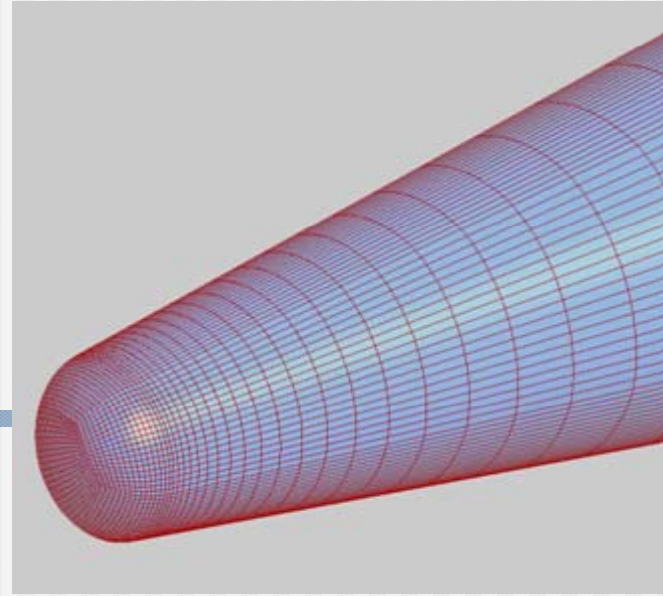
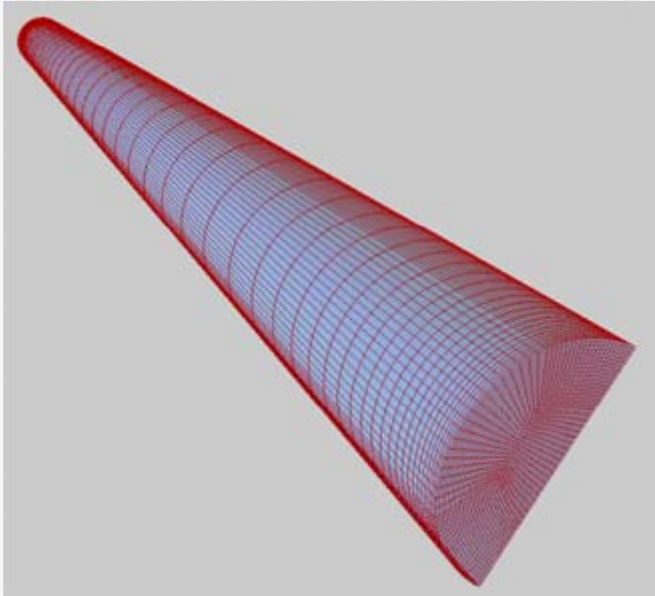
Расчетная область представляет собой прямоугольный параллелепипед длиной 7.5 калибров, окружающий конус и заполненный газом.

На границах расчетной области использовались сверхзвуковые граничные условия типа "Inlet", "Outlet" и "Wall".

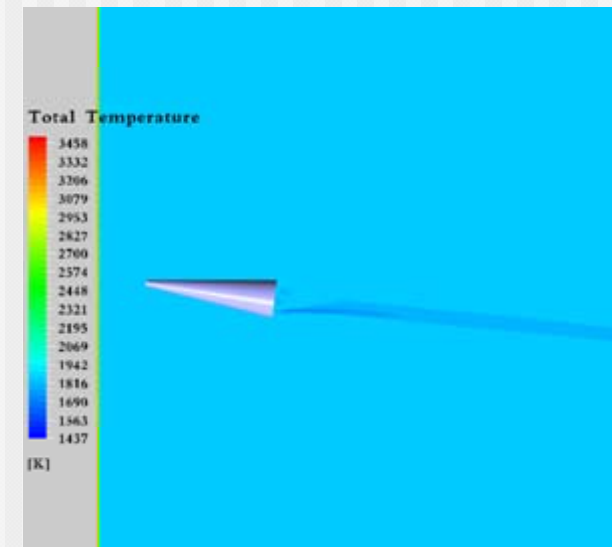
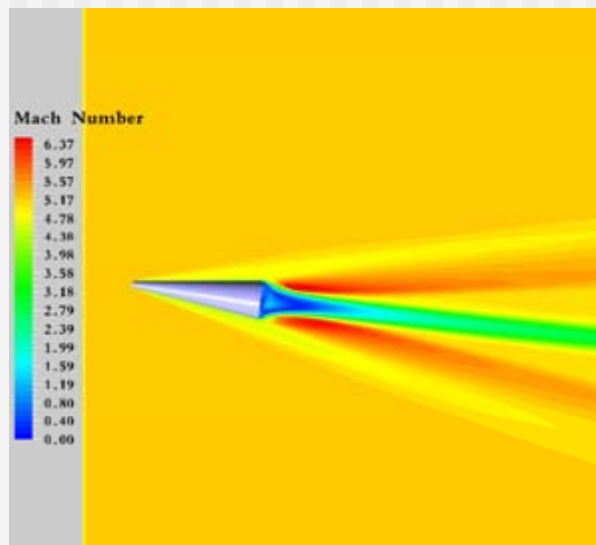
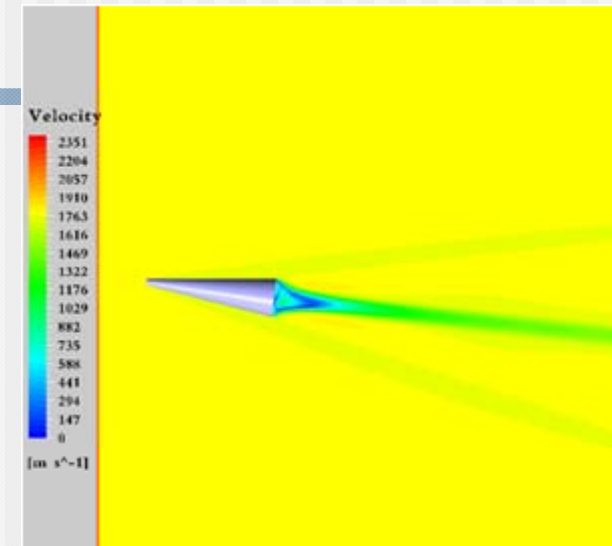
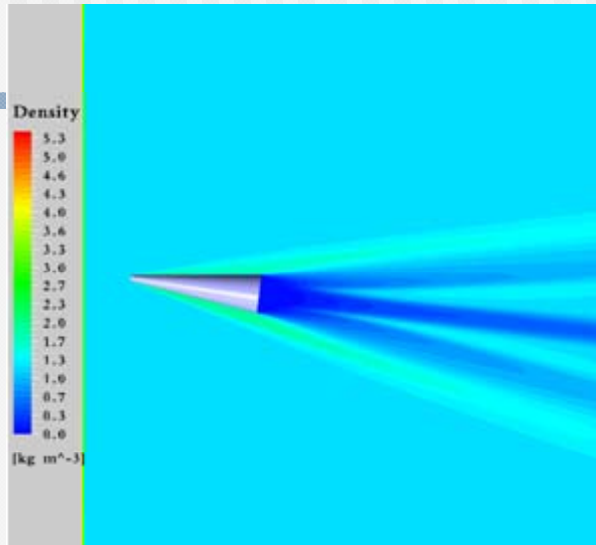
В прямоугольной расчетной области построена блочная структурированная сетка, состоящая из 552261 узлов и 530796 гексаэдров.

В области пограничного слоя вблизи тела и в окрестности изломов поверхности, которые могут провоцировать отрыв пограничного слоя, делалось специальное «прижатие» и сгущение ячеек сетки.

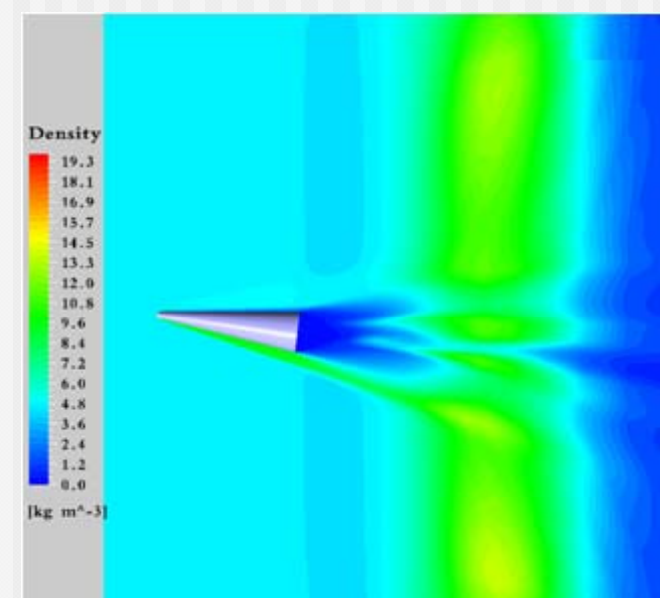
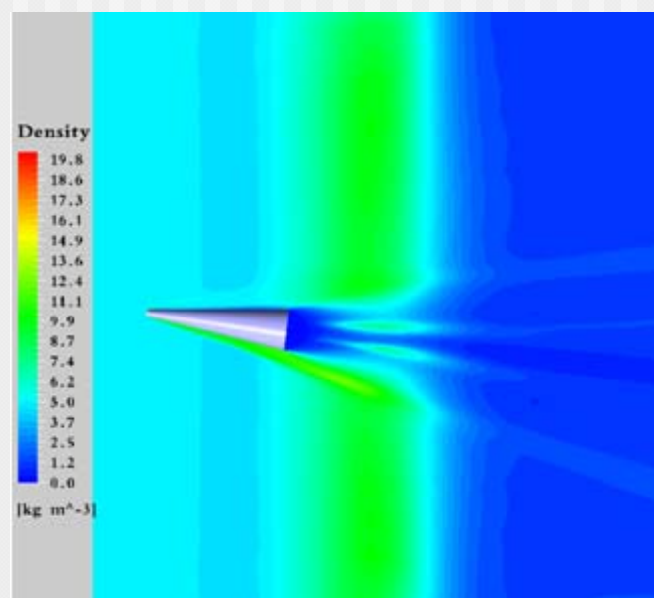
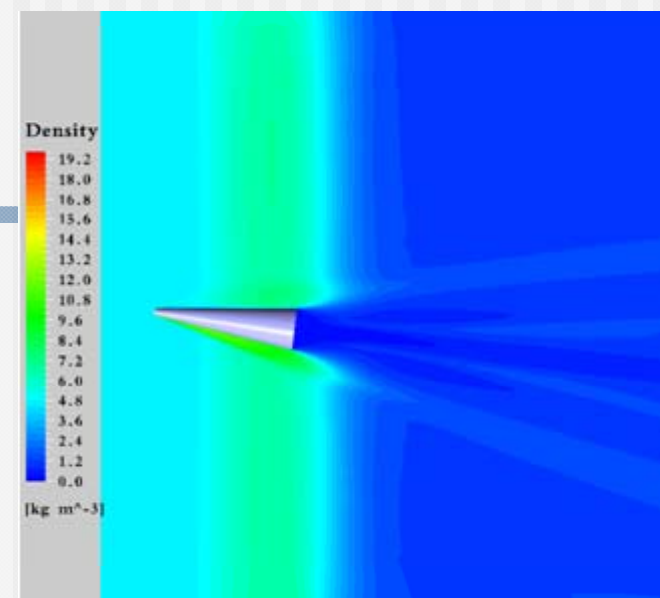
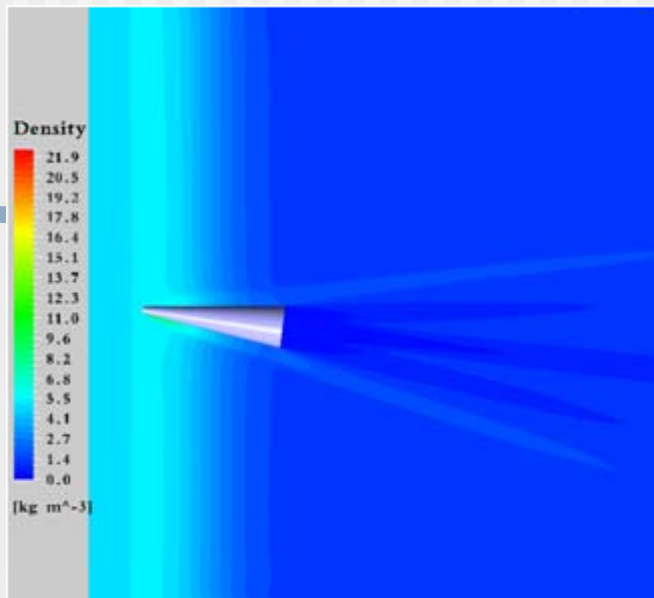
На следующем слайде представлены фрагменты гексаэдрической сетки на поверхности конуса и в вертикальной плоскости симметрии.



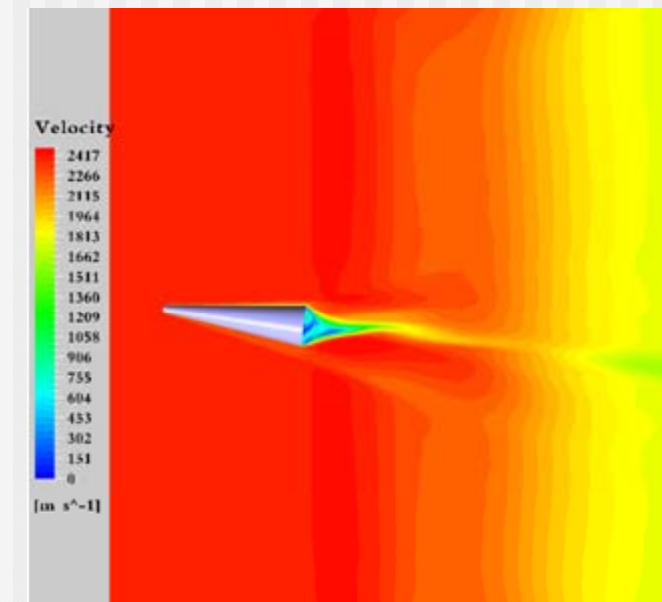
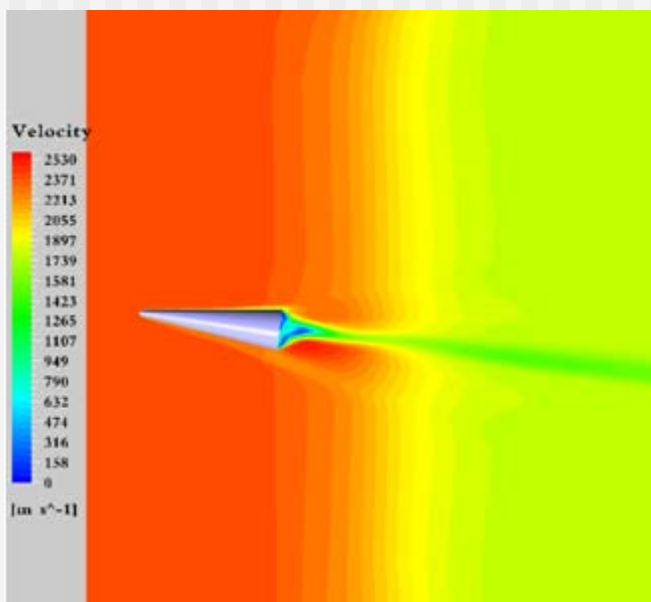
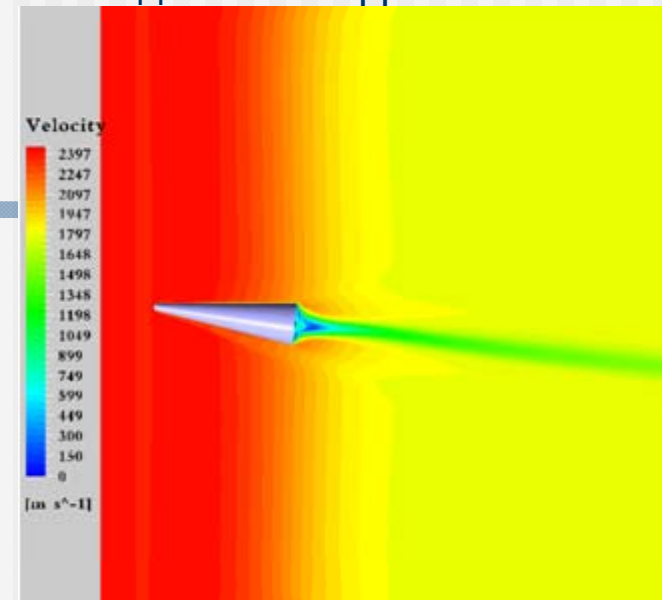
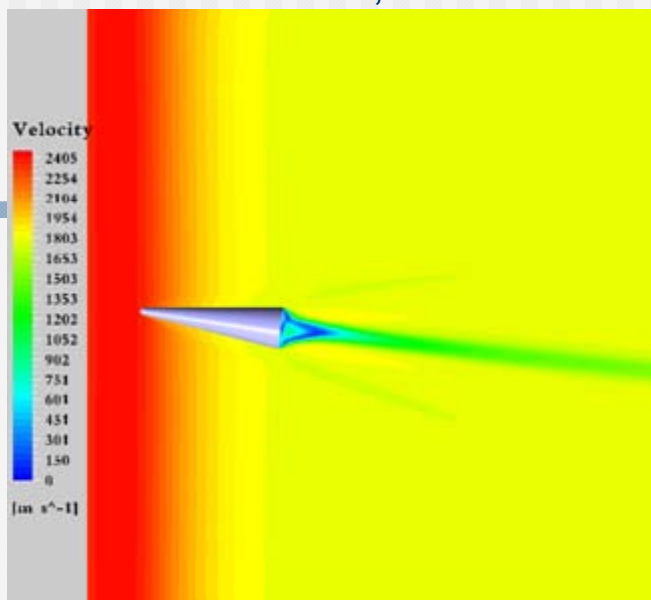
Результаты расчетов представлены в виде полей плотности, скорости, чисел Маха и температуры для начального стационарного обтекания (момент времени $t=0$, ударный фронт совпадает с левой границей, показано на этом слайде) и для различных моментов времени движения ударной волны вдоль расчетной области слева направо (следующие 4 слайда).



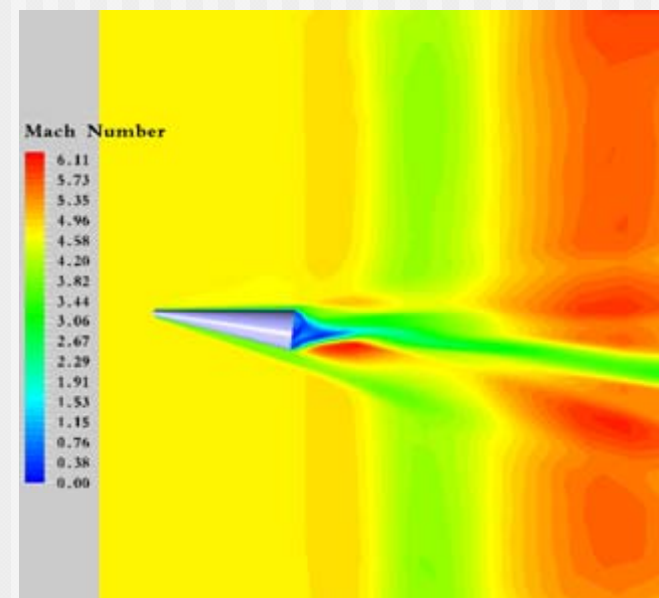
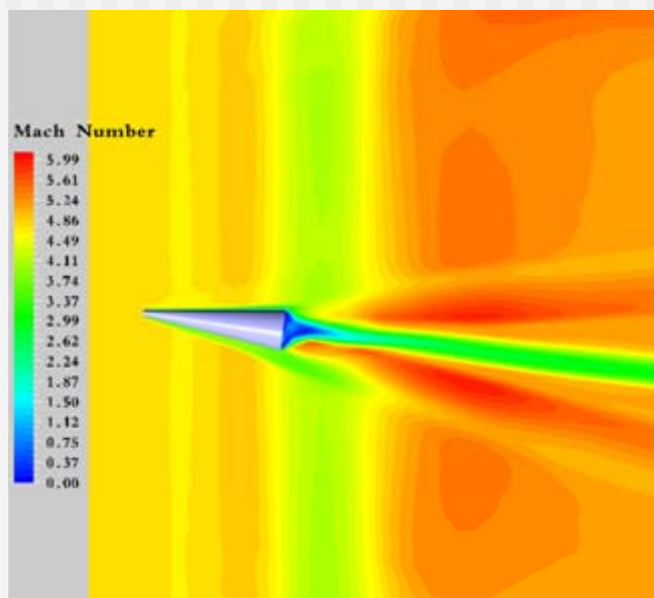
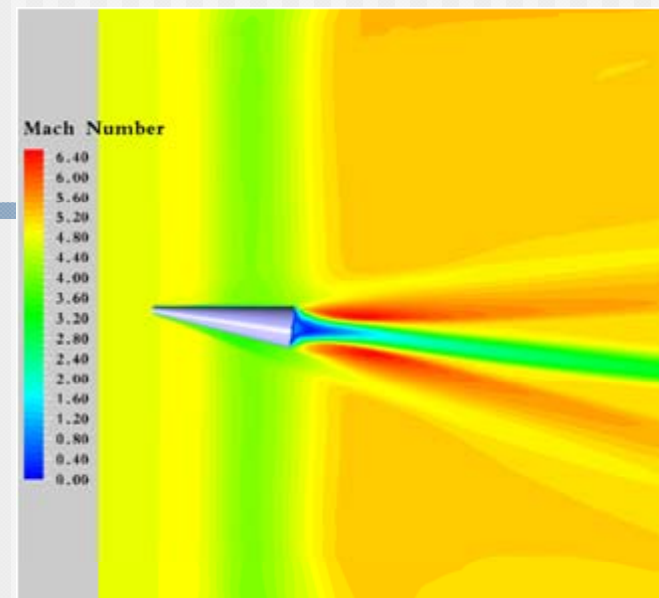
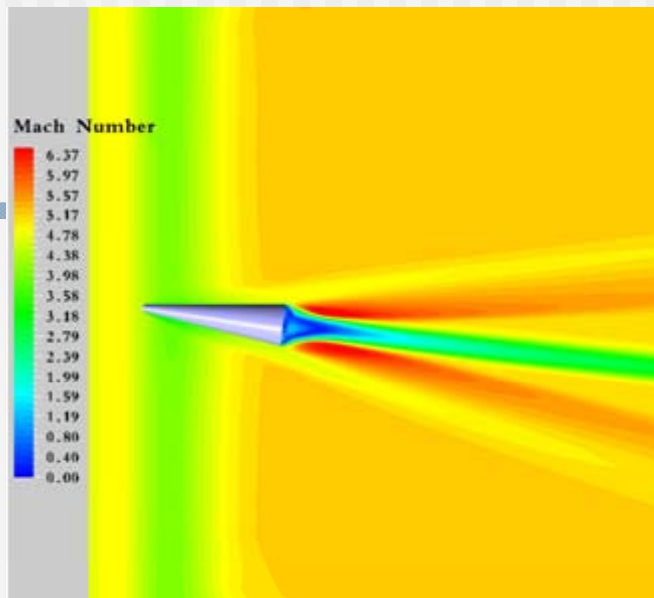
Поле плотности в вертикальной плоскости для моментов времени $t=0.012$ с, $t=0.024$ с, $t=0.036$ с и $t=0.051$ с от начала движения фронта



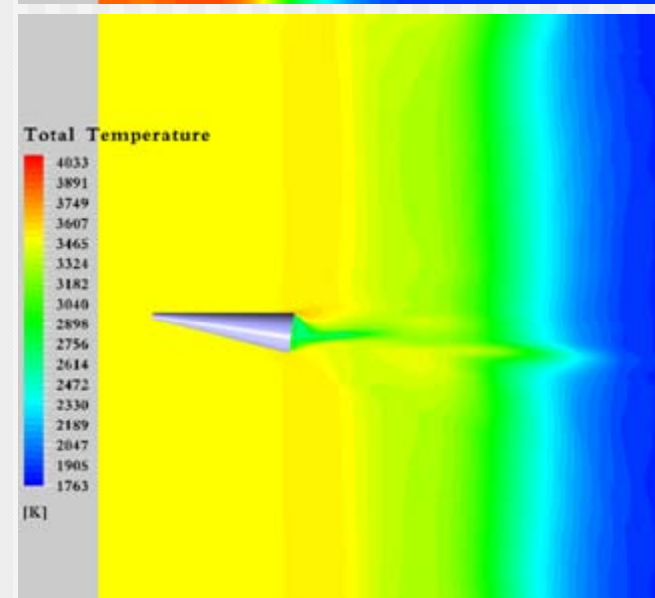
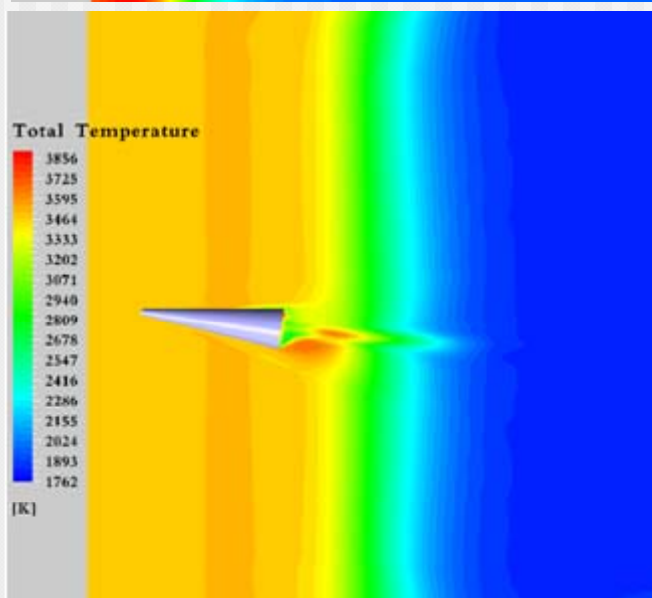
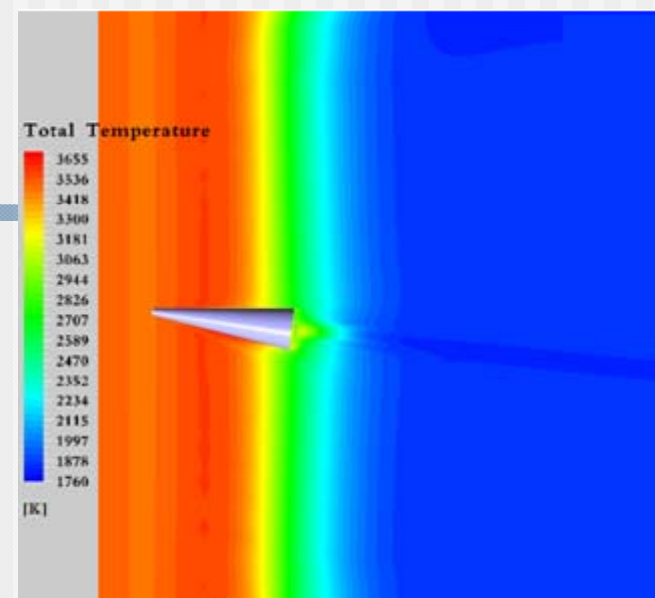
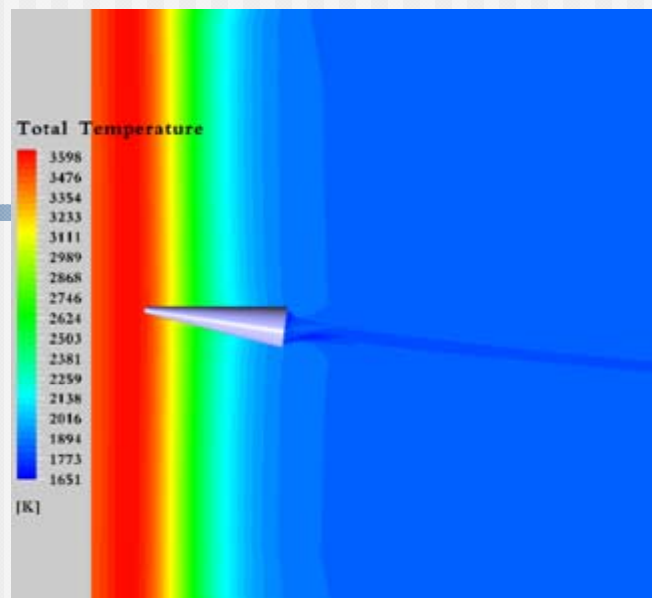
Поле скорости в вертикальной плоскости для моментов времени $t=0.012$ с, $t=0.024$ с, $t=0.036$ с и $t=0.051$ с от начала движения фронта



Поле чисел Маха в вертикальной плоскости для моментов времени $t=0.012$ с, $t=0.024$ с, $t=0.036$ с и $t=0.051$ с от начала движения фронта



Поле полной температуры в вертикальной плоскости для моментов времени $t=0.012$ с, $t=0.024$ с, $t=0.036$ с и $t=0.051$ с от начала движения фронта



Изменение параметров течения от времени по мере прохождения плоского ударного фронта приводит к резкому изменению аэродинамических сил, действующих на конус – подъемная сила (lift) увеличивается в 100 раз, сила сопротивления (drag) в 10-12 раз.

