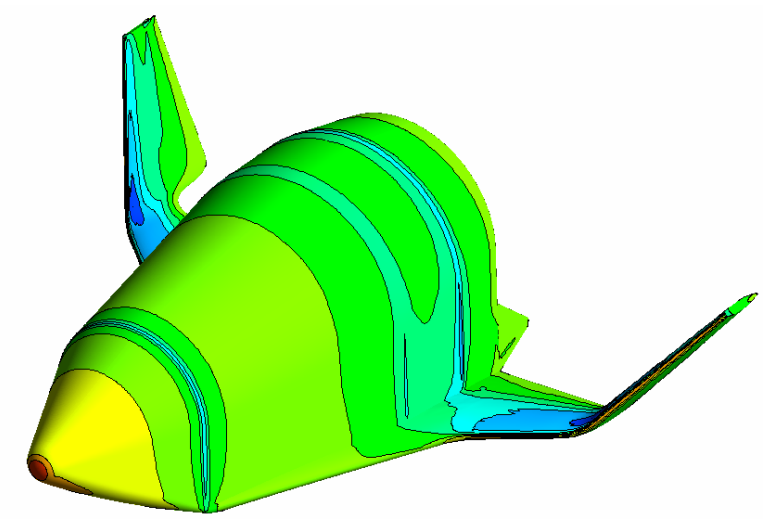
Численное моделирование трансзвукового и дозвукового обтекания воздушно-космического аппарата

Стародубцев М.А., Бузыкин О.Г. – CAE-Services, Москва
Ваганов А.В., Пафнутьев В.В. – ФГУП ЦАГИ, Жуковский
Дядькин А.А., Симакова Т.В. – РККА Энергия, Королев

Область применения



"Международный авиа-космический салон МАКС2005"
г. Жуковский, Московская обл.

⇒ **Цель расчета:**

Определить аэродинамические характеристики аппарата на трансзвуковых и посадочных режимах полета

Описание задачи

⇒ **Название изделия: Возвращаемый космический аппарат “Клипер”**

Разработка: РККА Энергия, ЦАГИ.

⇒ **Техническое задание:**
Оценка аэродинамических характеристик аппарата.

Основные спускаемых аппаратов

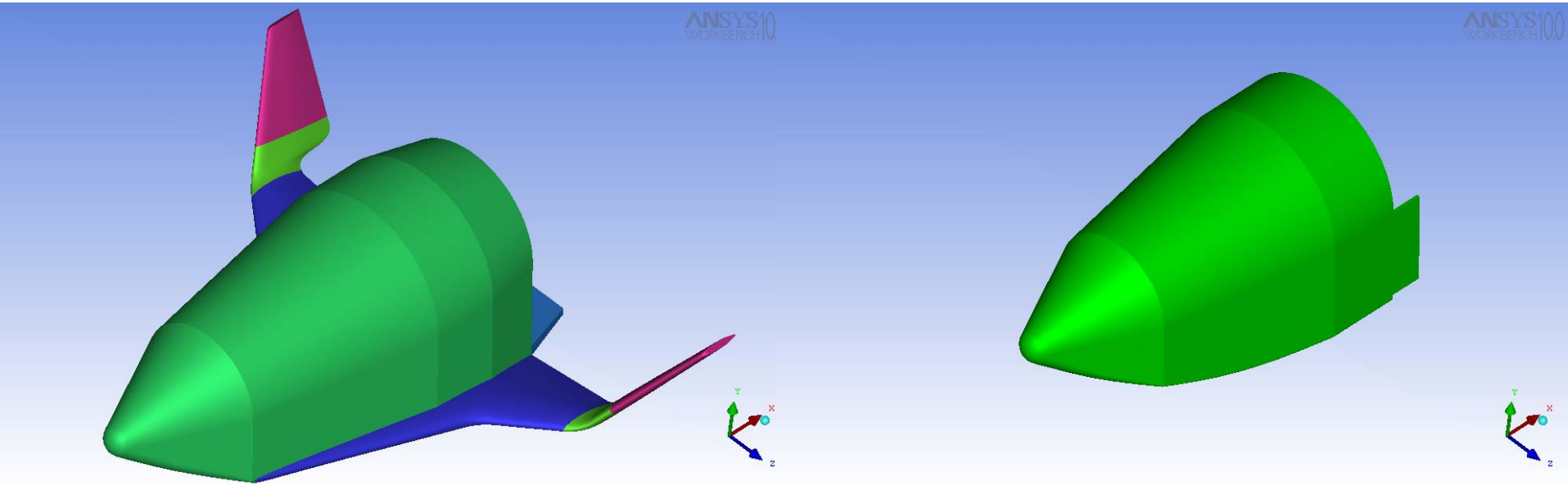
1. Теплозащита аппарата при входе в плотные слои атмосферы
2. Стабилизация аппарата на трансзвуковых скоростях
3. Обеспечение приемлемых посадочных характеристик при посадке

ЦАГИ, Жуковский

M=0.3

$Re_{1м}=5.6*10^6$

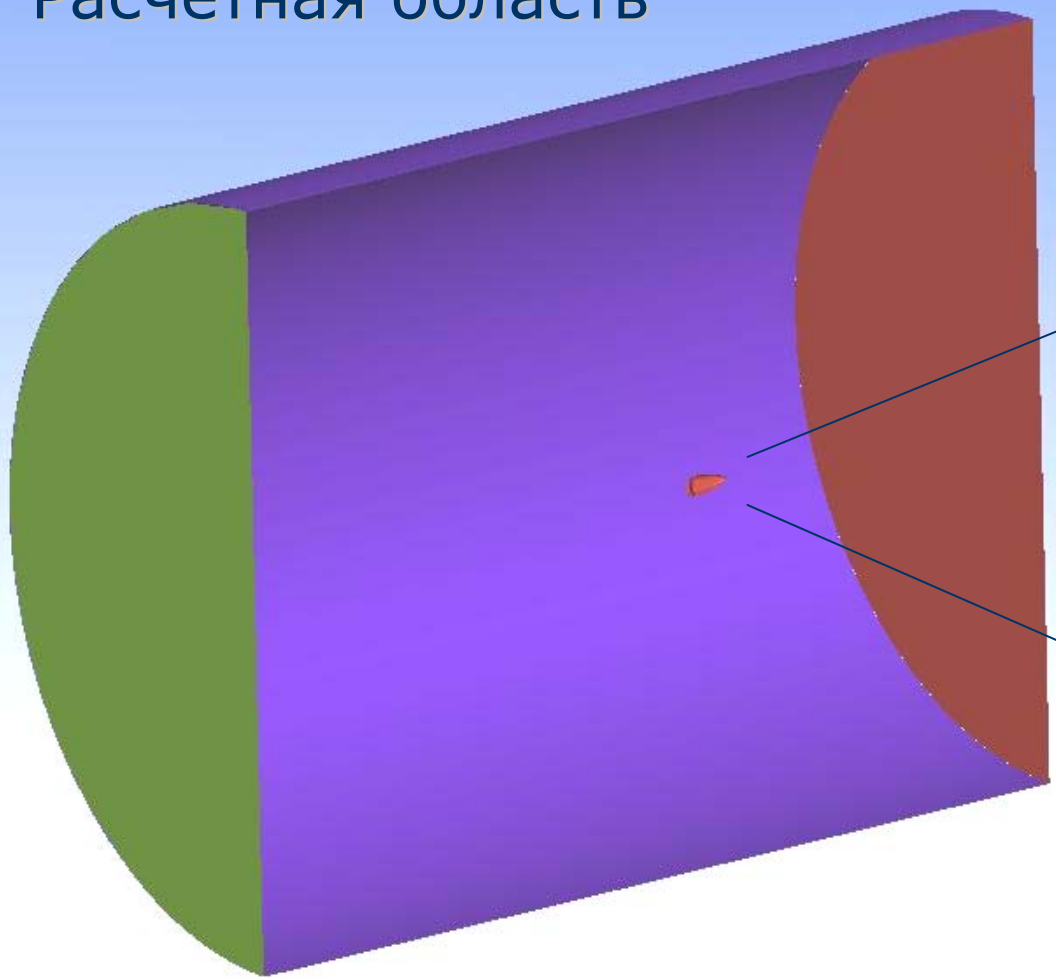
РККА Энергия, Королев

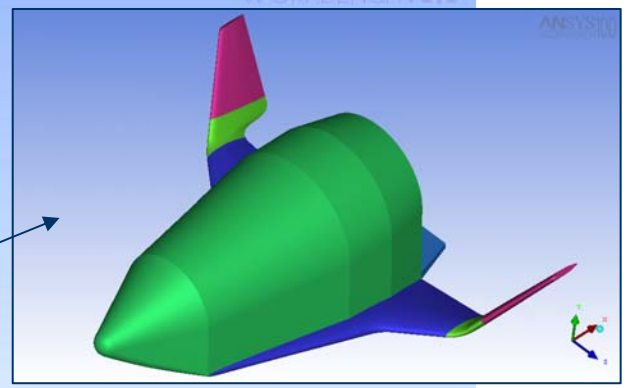


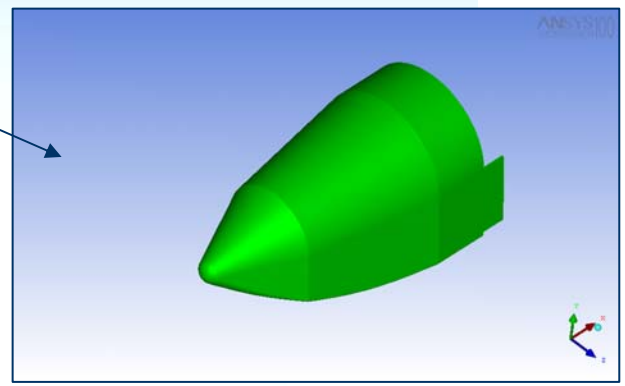
M=0.92

$Re_{1м}=8.2*10^6$

Расчетная область

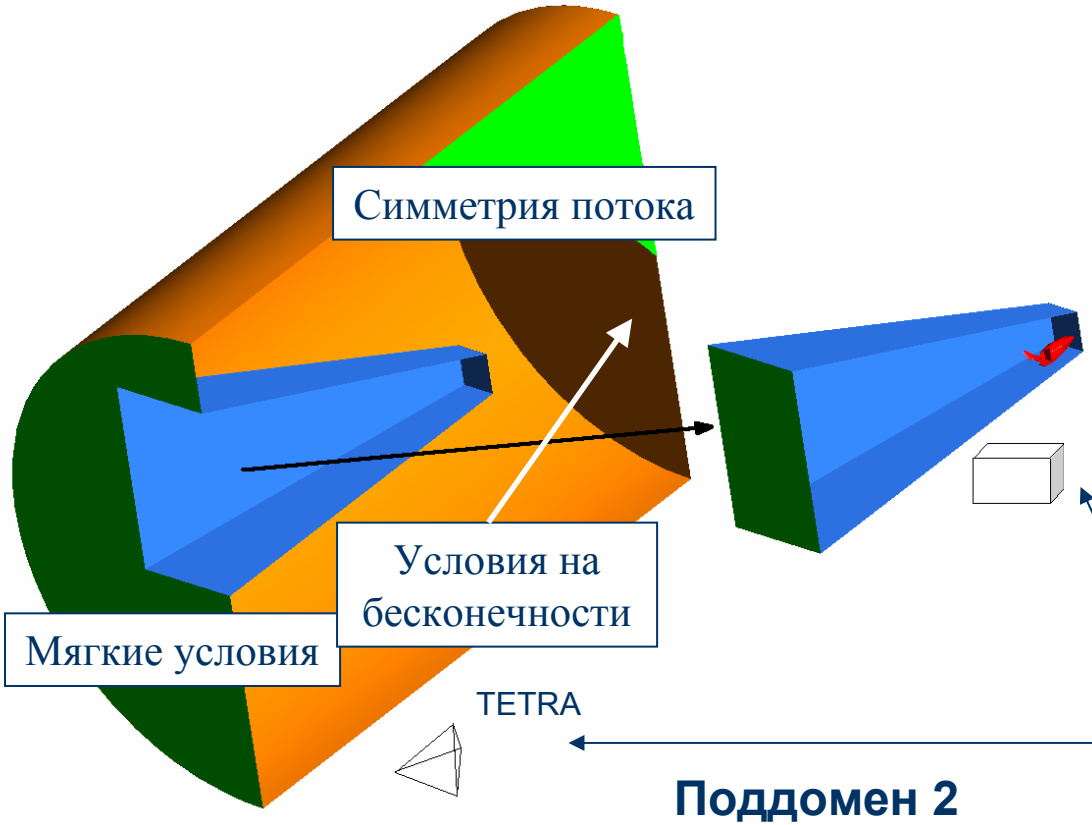


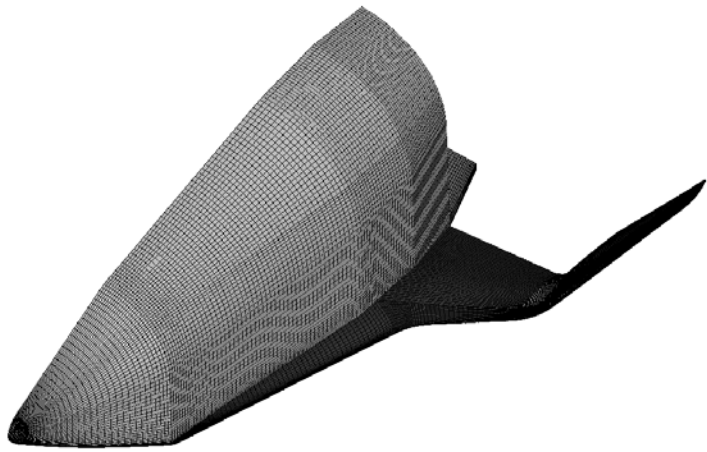




Расчетная сетка. Крылатый аппарат.

⇒ ANSYS ICEM CFD, Tetra + Hexa



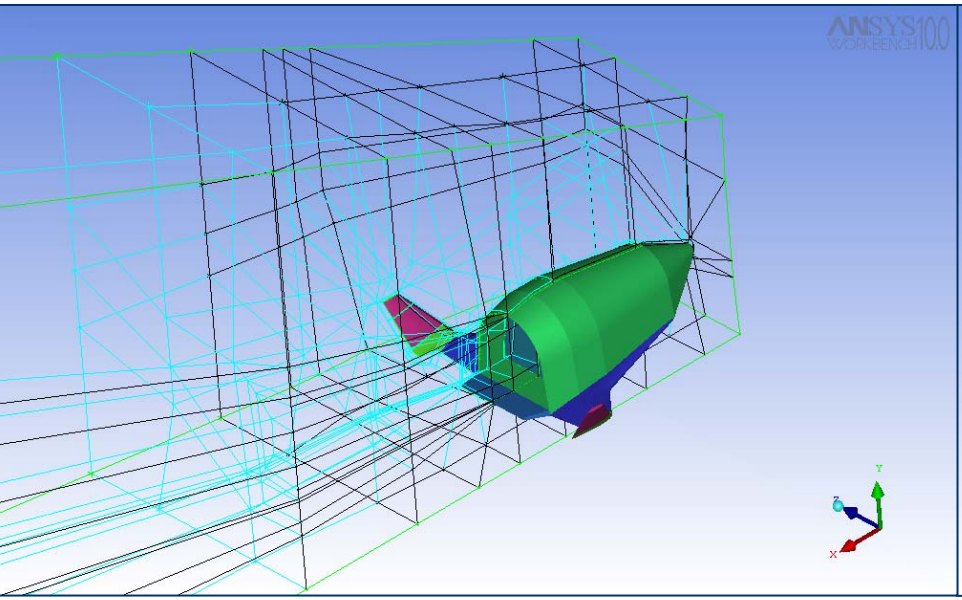


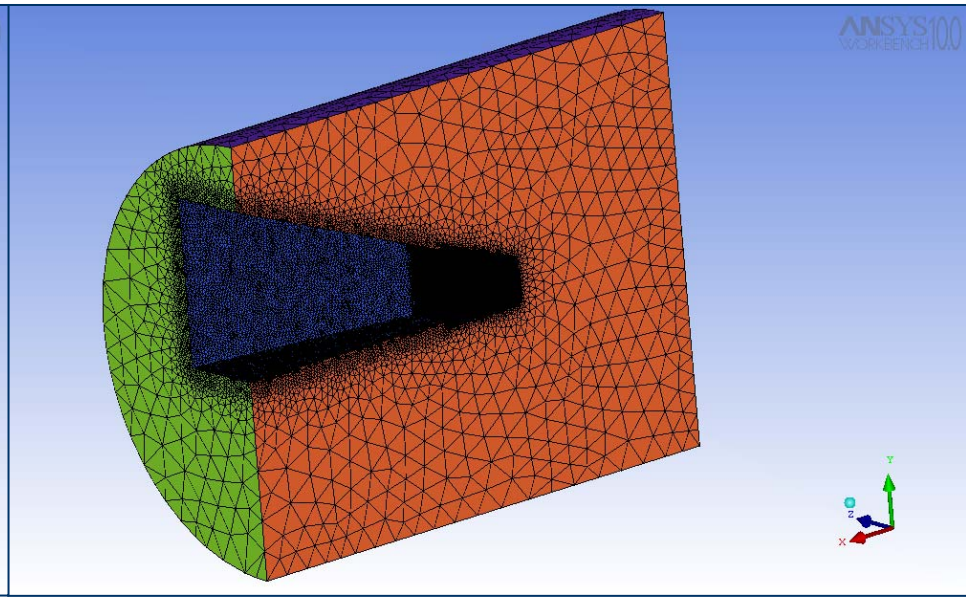
Поддомен 1
(5.4 млн. гекса- элементы)

Расчетная область состоит из 2-х поддоменов

Поддомен 2
(1.6 млн. тетра- элементы)

Сетка. Крылатый аппарат.

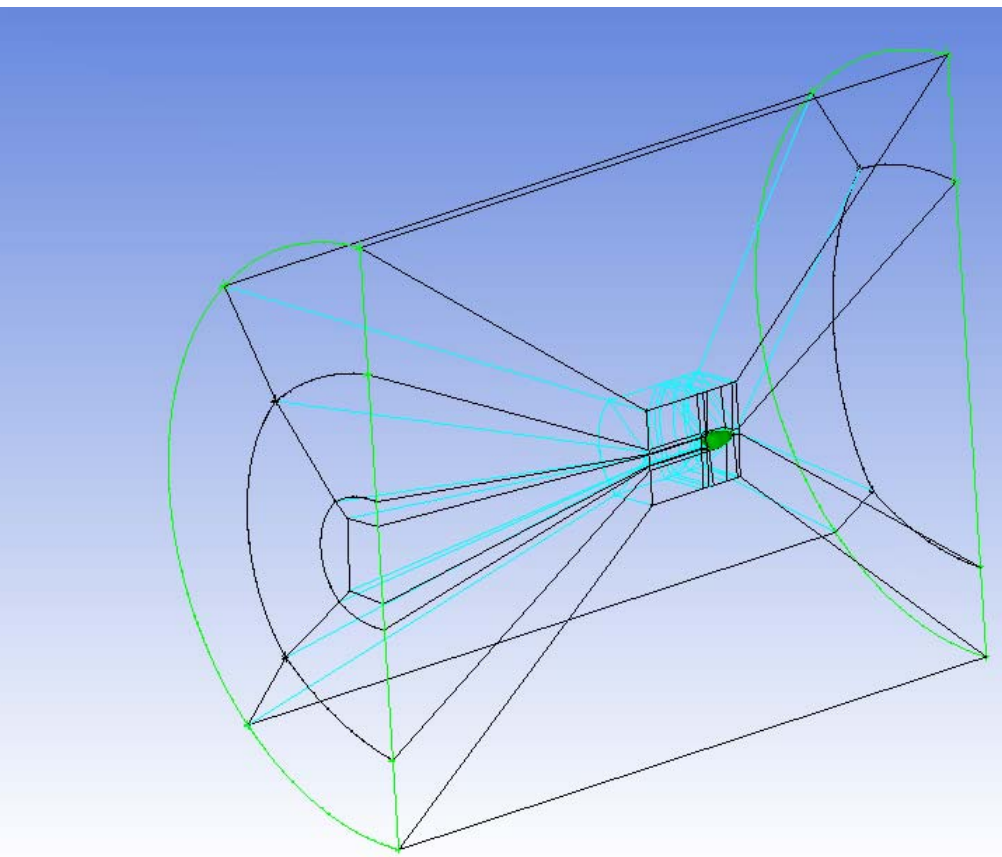


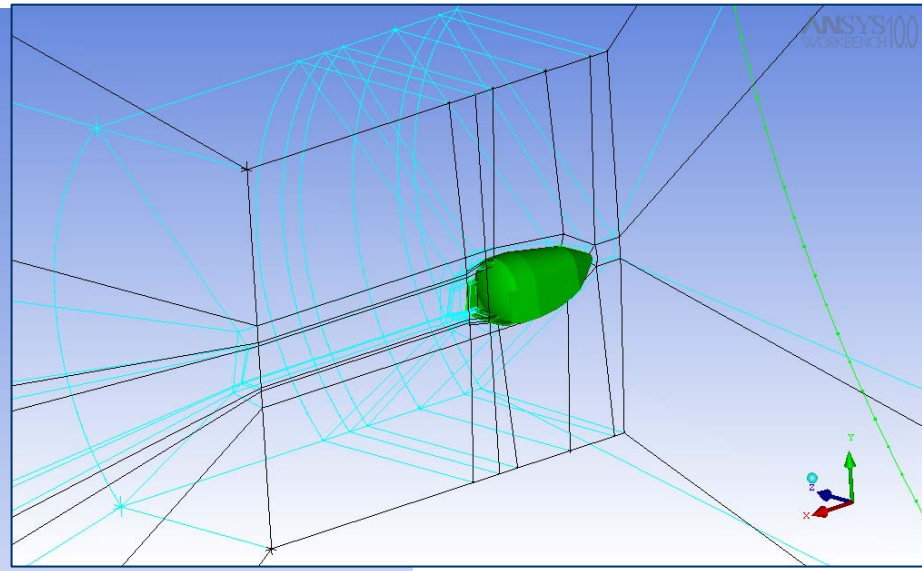


Поддомен 1
Блоки: 189
Узлы: 5’370’077
Поверхностные элементы(Quads): 244’048
Объемные элементы (Hexas): 5’258’439

Поддомен 2
Узлы: 295’895
Треугольные элементы: 67’444
Тетра_4: 1’653’158

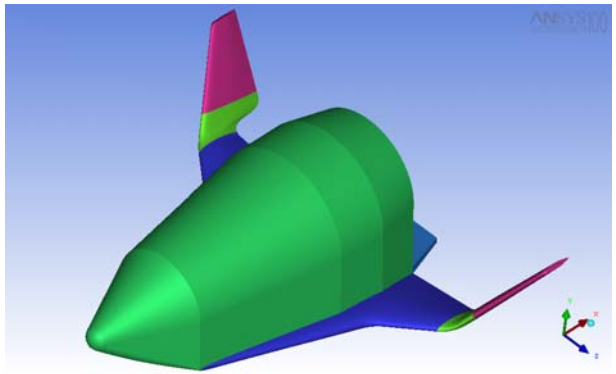
Расчетная сетка. Бескрылый вариант. Только Неха элементы.

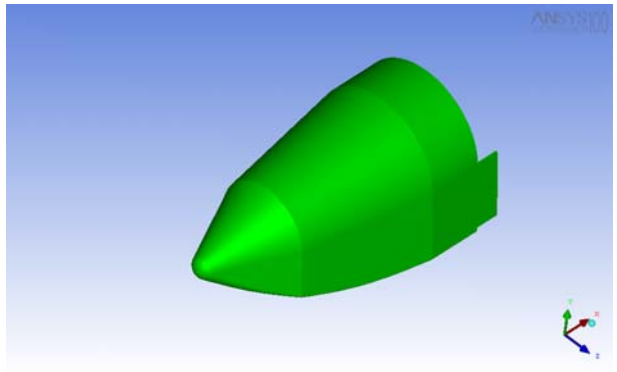




Блоки:	84
Узлы:	12’088’360
Quads:	284’450
Hexas:	11’945’566

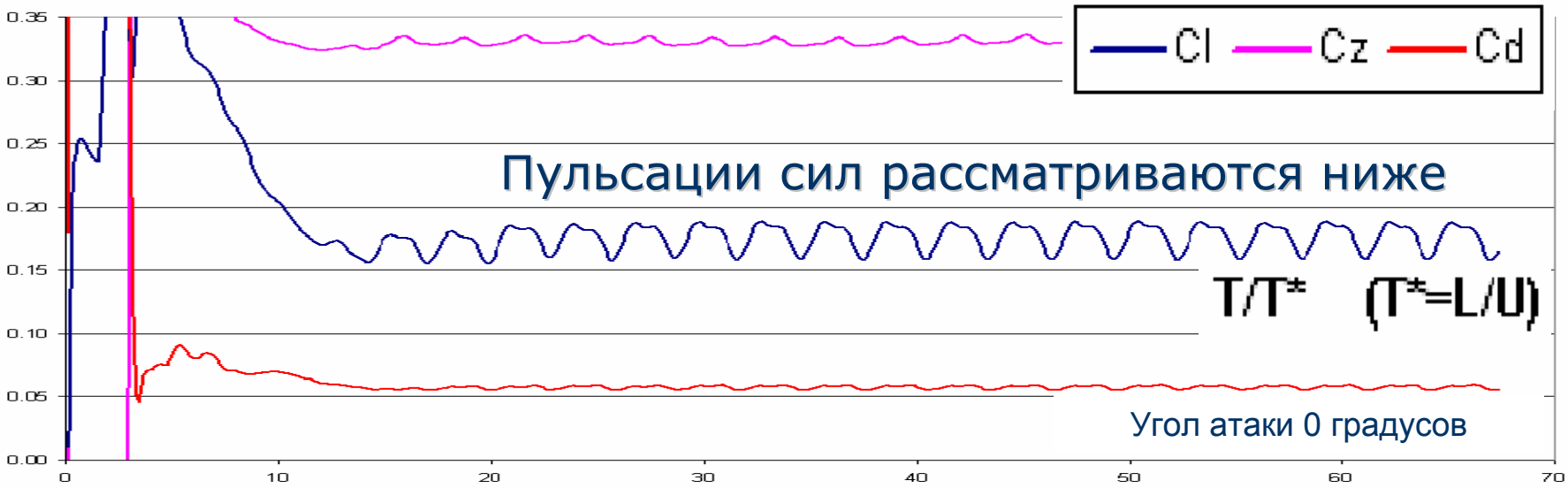
Физическая модель





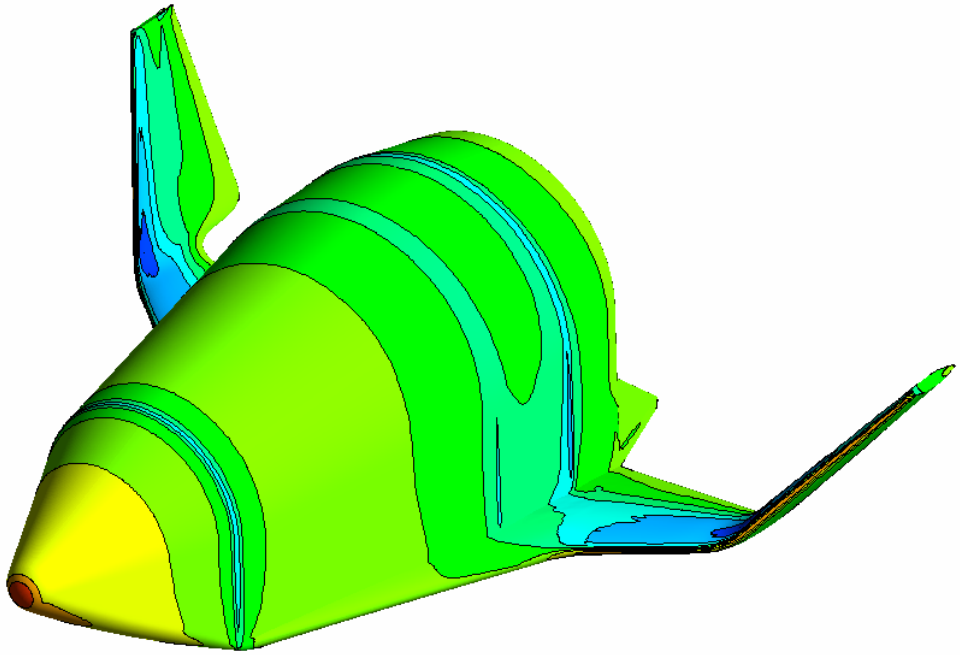
1.	Рабочая среда	Воздух (Идеальный газ)	Воздух (Идеальный газ)
2.	Число Маха	M=0.3	M=0.92
3.	Число Рейнольдса на 1 метр	$Re_{1m}=5.6*10^6$	$Re_{1m}= 8.2 *10^6$
4.	Угол атаки	0, 5 and 10 degree	0
5.	Режим моделирования	Турб., нестац. (URANS)	Турб., стац. (RANS)
6.	Шаг по времени	0.01 сек.	0.01 сек. (Physical Time Step)
7.	Начальное приближение	Однородный поток	Однородный поток
8.	Модель турбулентность	k-w SST	k-w SST
9.	Параметр Y+	~2	~0.2

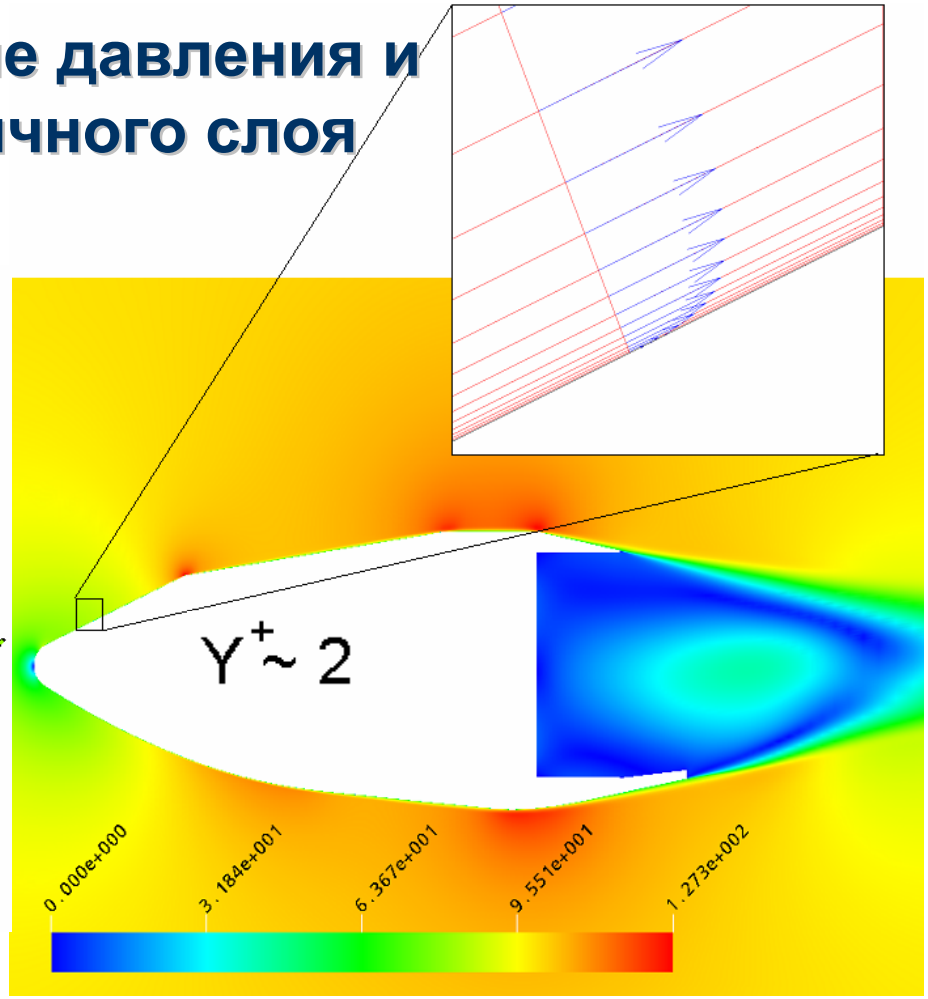
Аэродинамические силы (крылатый вариант)



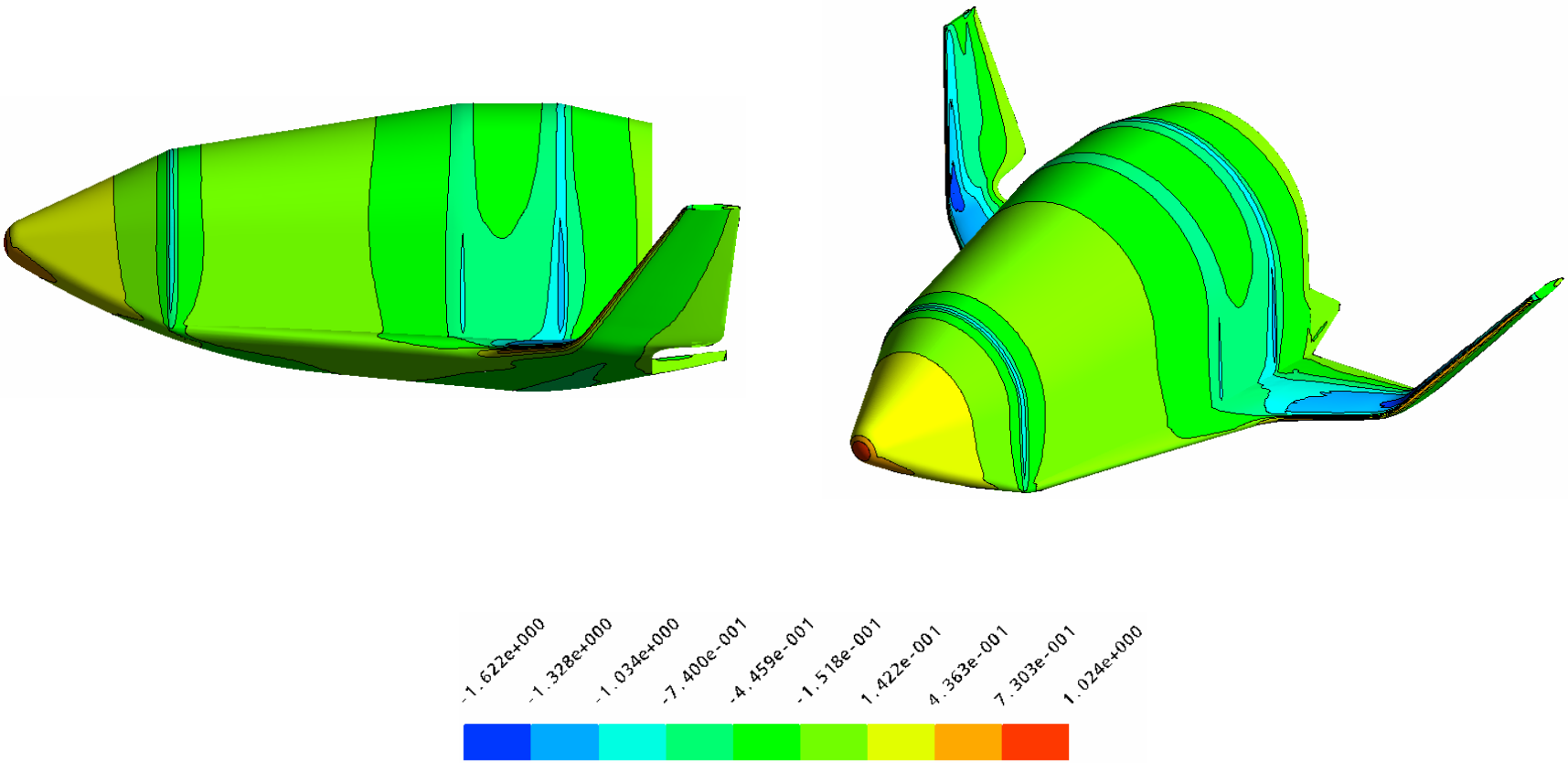
Угол атаки [град.]	Cd (Cdf)	Cl	Cmz	K
0	0.057 (0.012)	0.17	-0.14	3.0
5	0.076 (0.012)	0.47	-0.35	6.1
10	0.116 (0.012)	0.66	-0.48	5.7

Поверхностное распределение давления и сеточное разрешение пограничного слоя (Крылатый вариант)

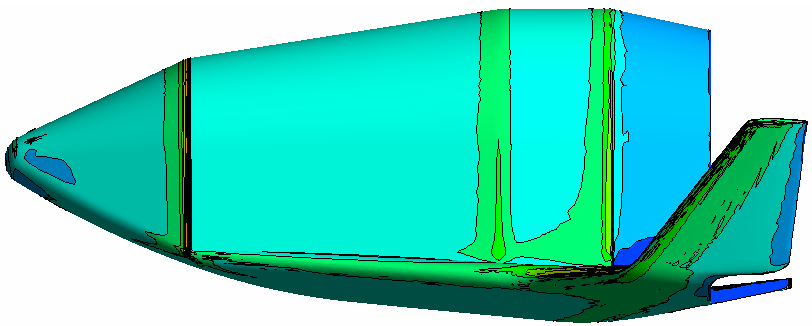


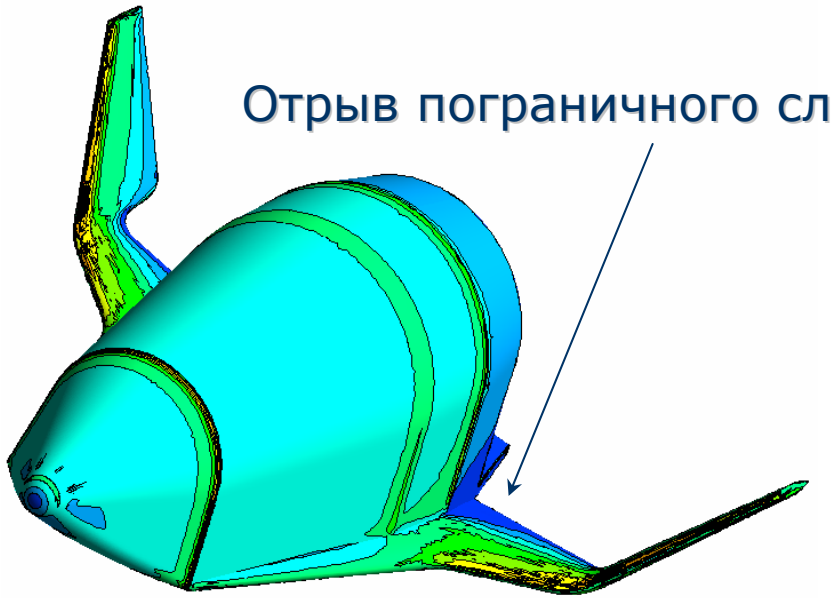


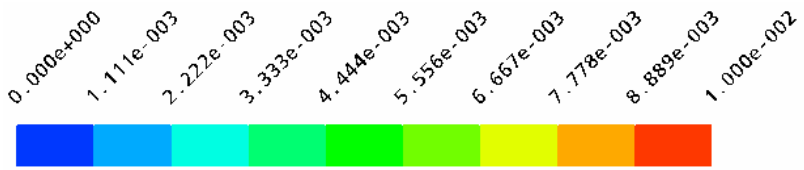
Поверхностное распределение давления C_p (Крылатый вариант)



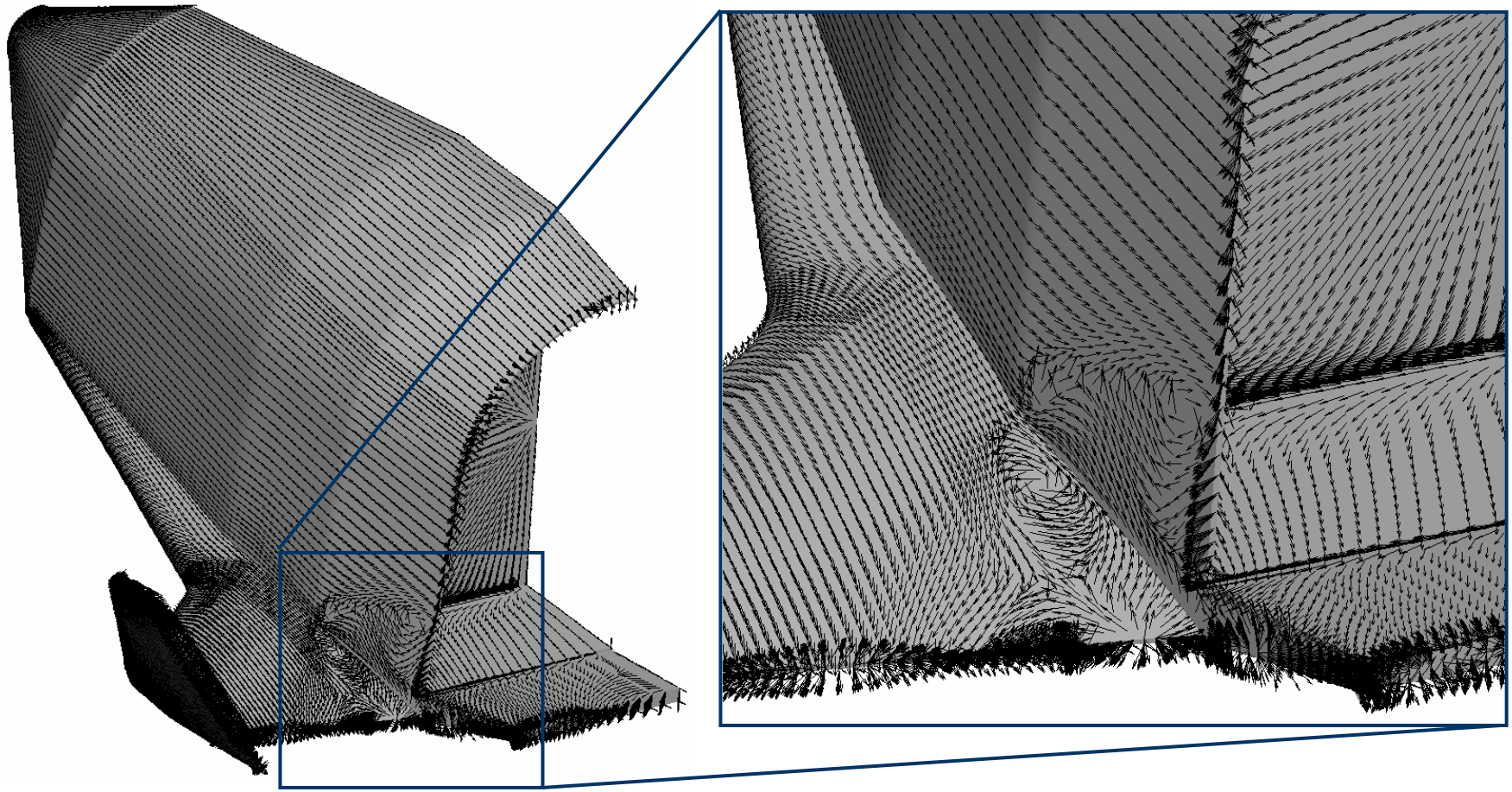
Поверхностное распределение коэффициента трения (Крылатый вариант)



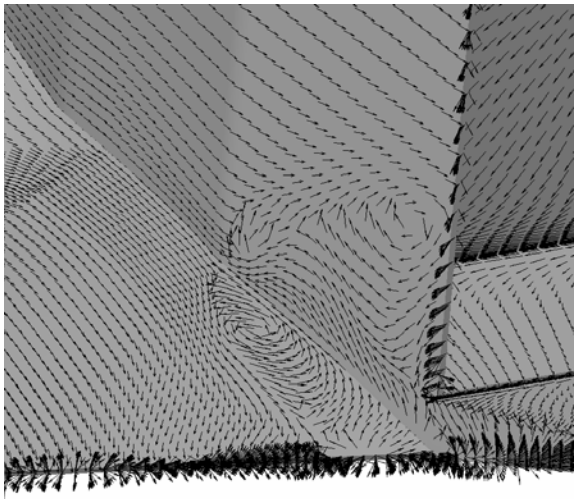
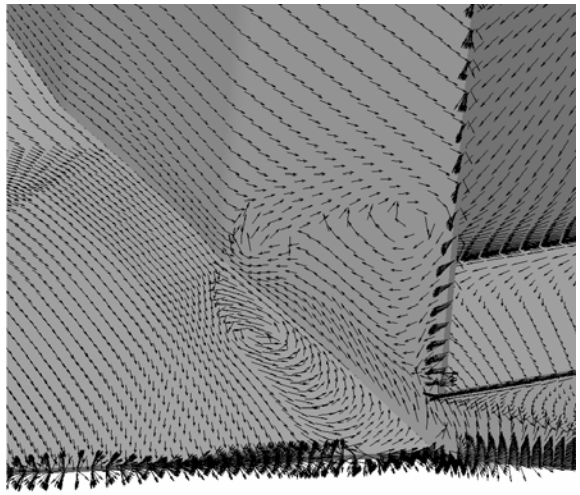
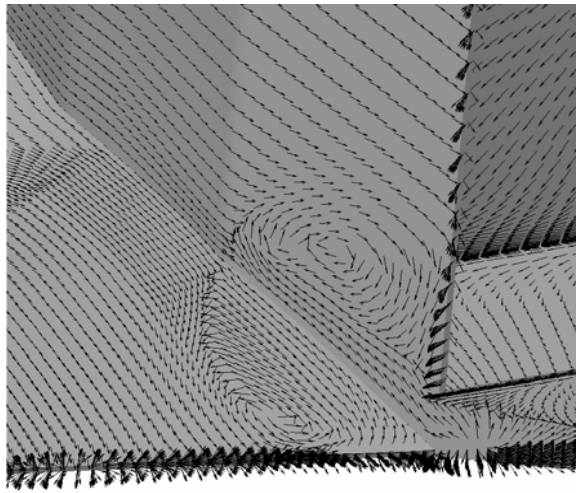
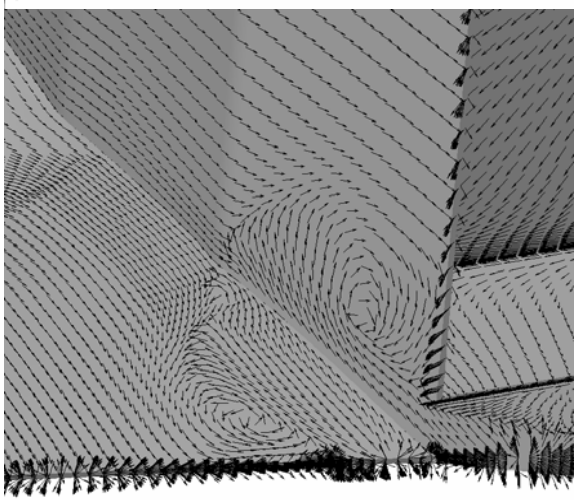
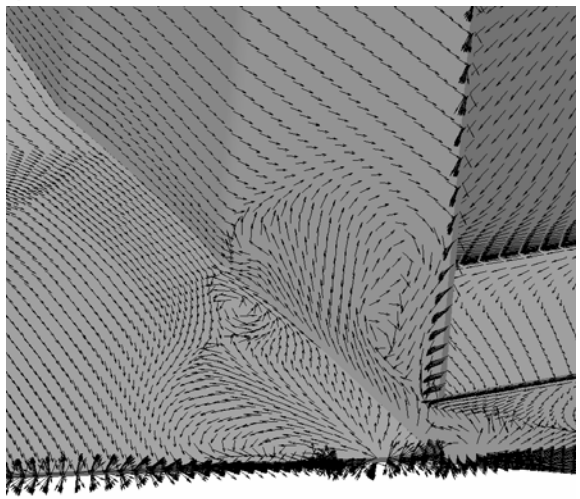
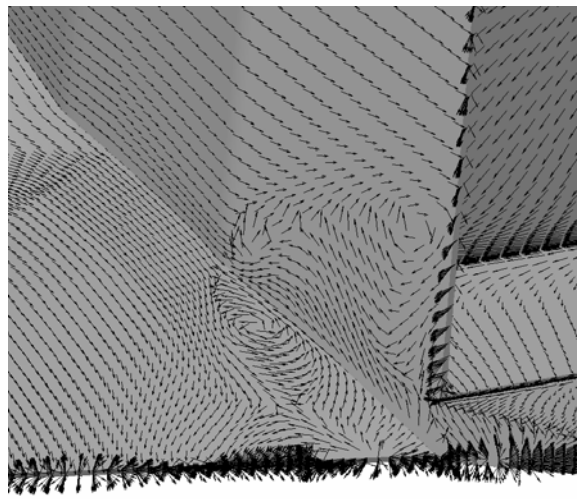




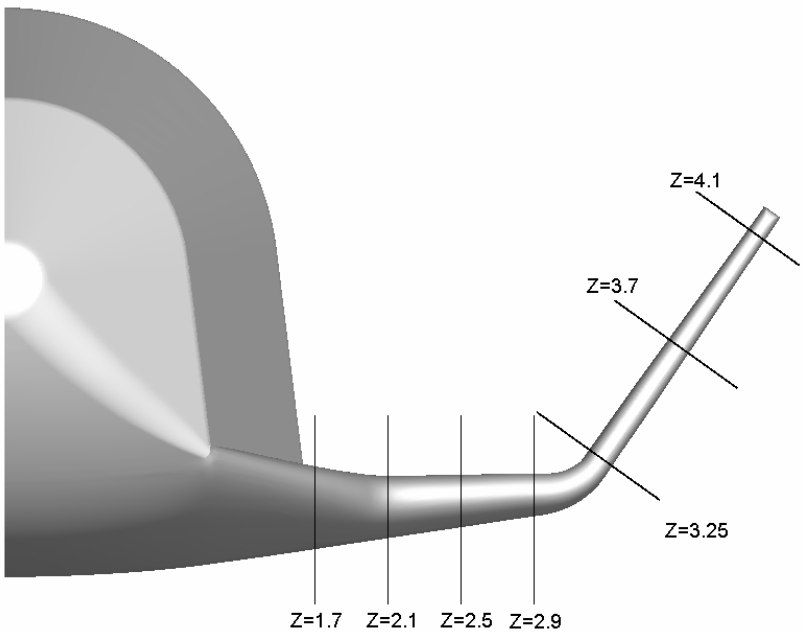
Векторное поле сил трения

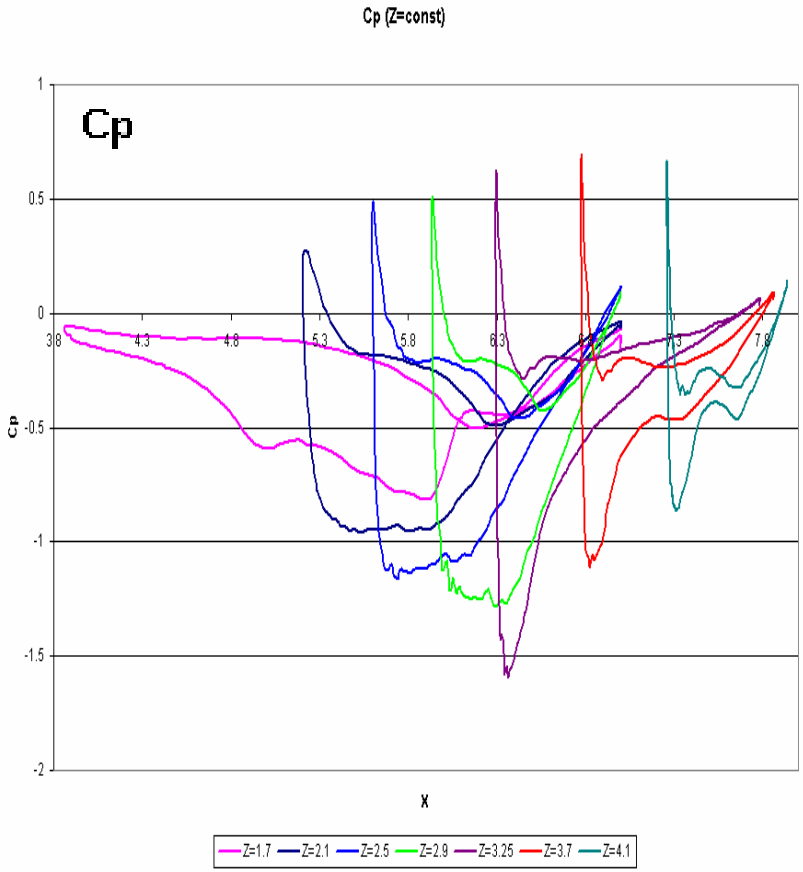


Поверхностное трение в различные моменты времени

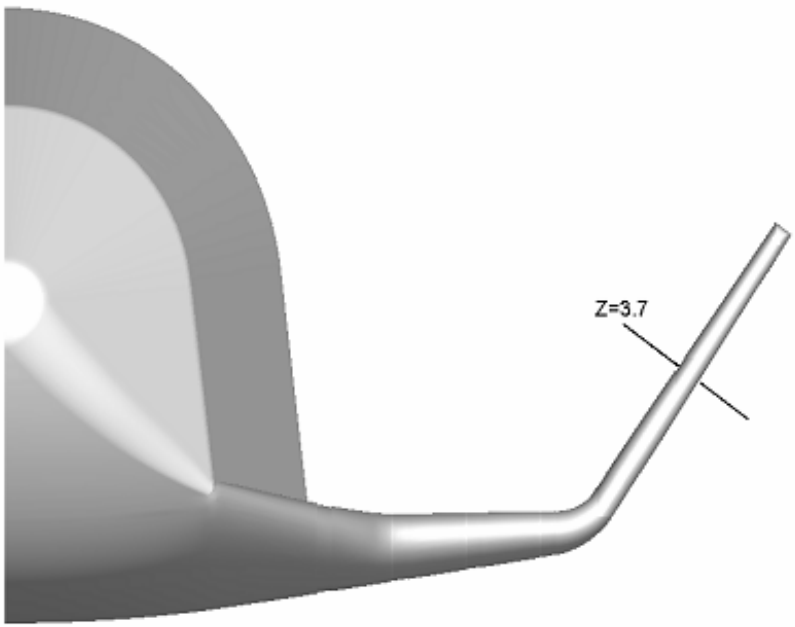







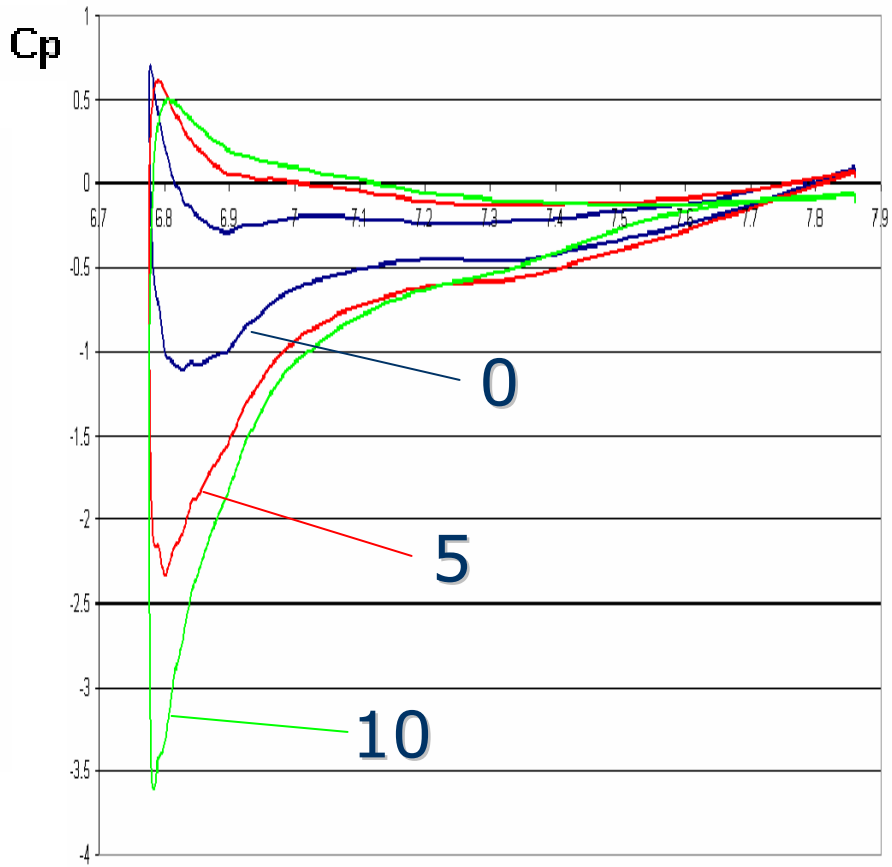
Эпюры давления для сечений Z=const (угол атаки 0 град.)



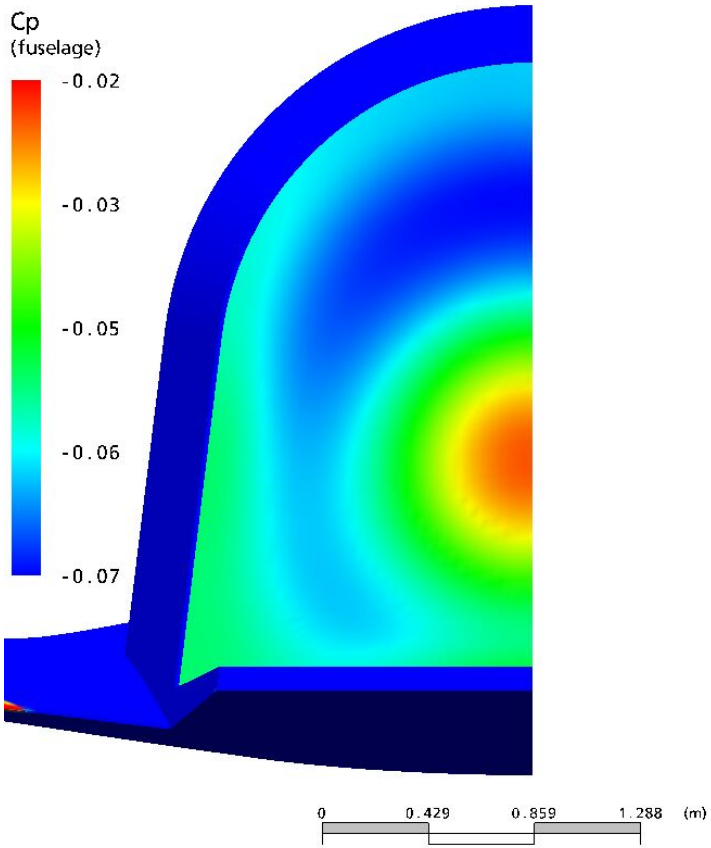


Сечение Z=3.7м. Эпюры давления для 3-х углов атаки

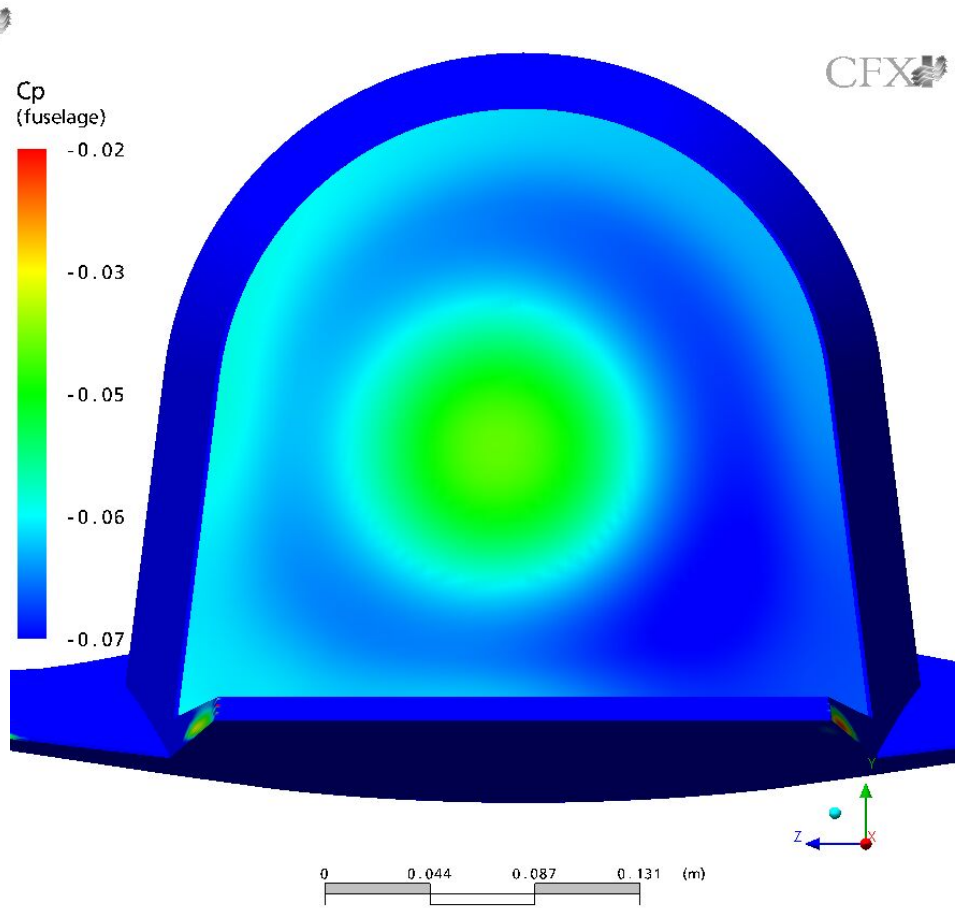




Влияние граничного условия “плоскость симметрии”

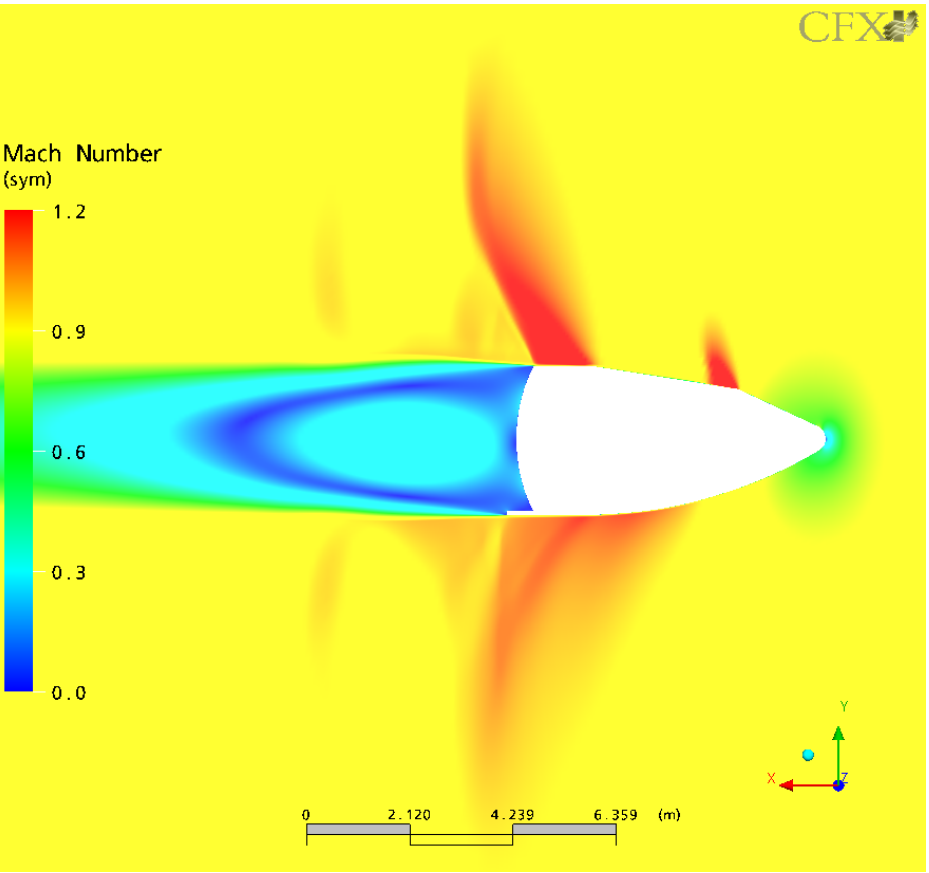


5’665’972 узлов

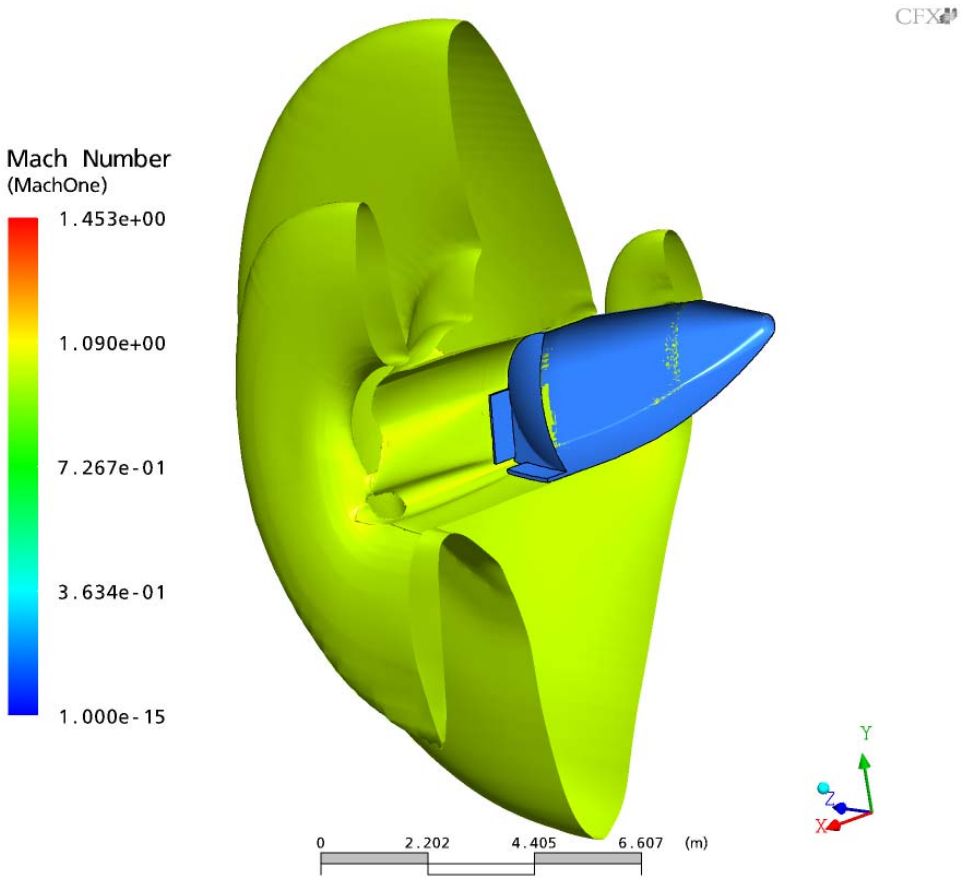


11’331’944 узлов

Поле Маха (Бескрылый вариант)

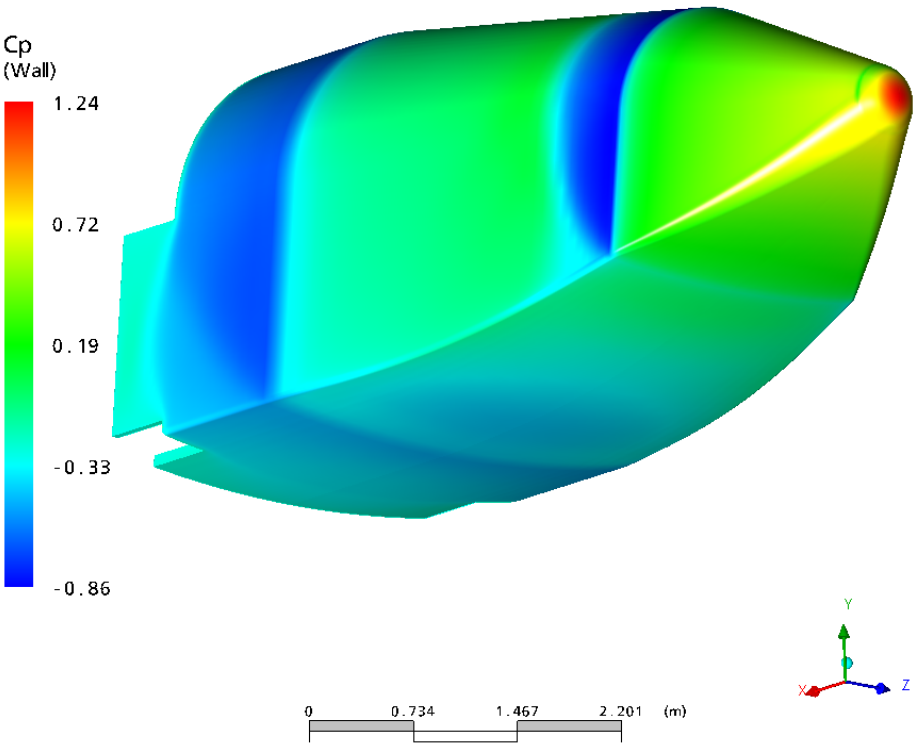


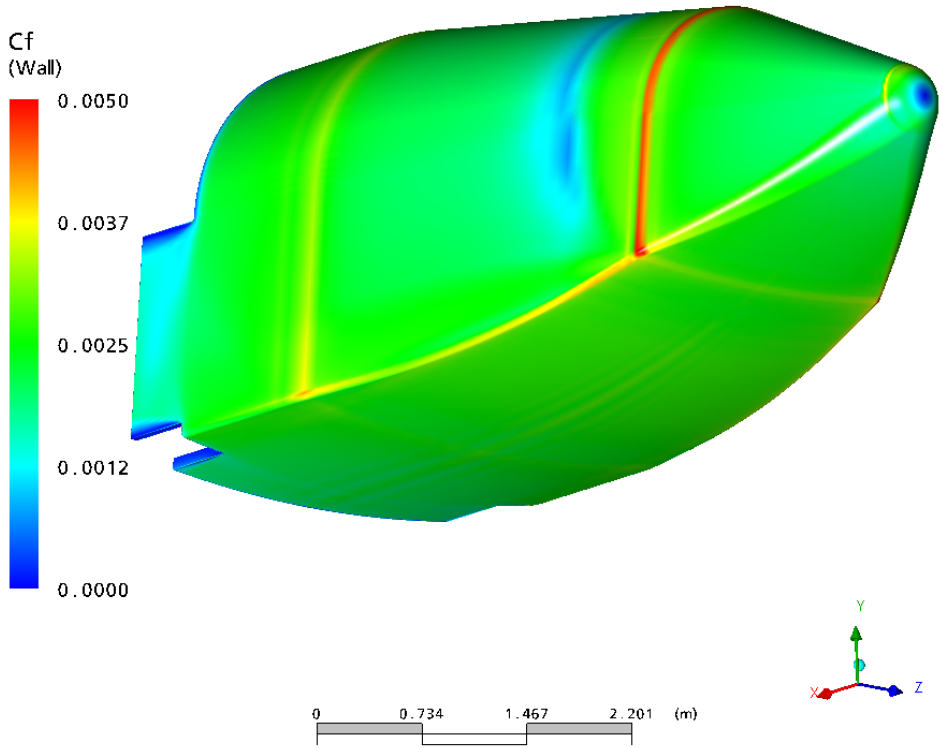
Поле чисел Маха в плоскости симметрии



Изоповерхность (M=1)

Распределение нормальных C_p и косательных C_f напряжений (Бескрылый вариант)



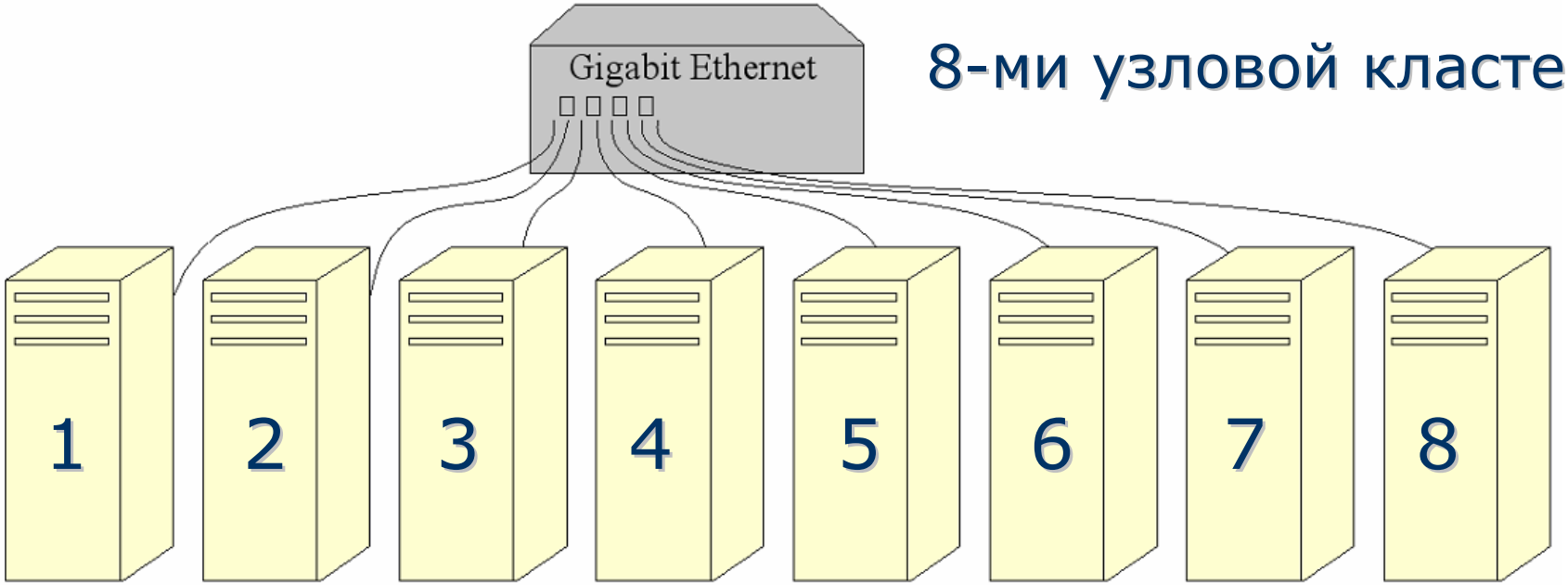


Аэродинамические силы (Бескрылый вариант)

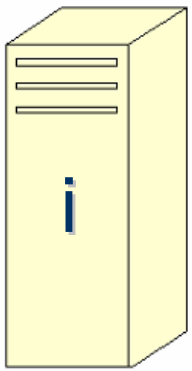
M=0.92 Re_{1m}= 8.2 *10^6

	C_d	C_l	M_z
CFX10.0	0.45	-0.02	0.0080
Wind Tunnel	0.50	0.16	0.0015

CAE-Services

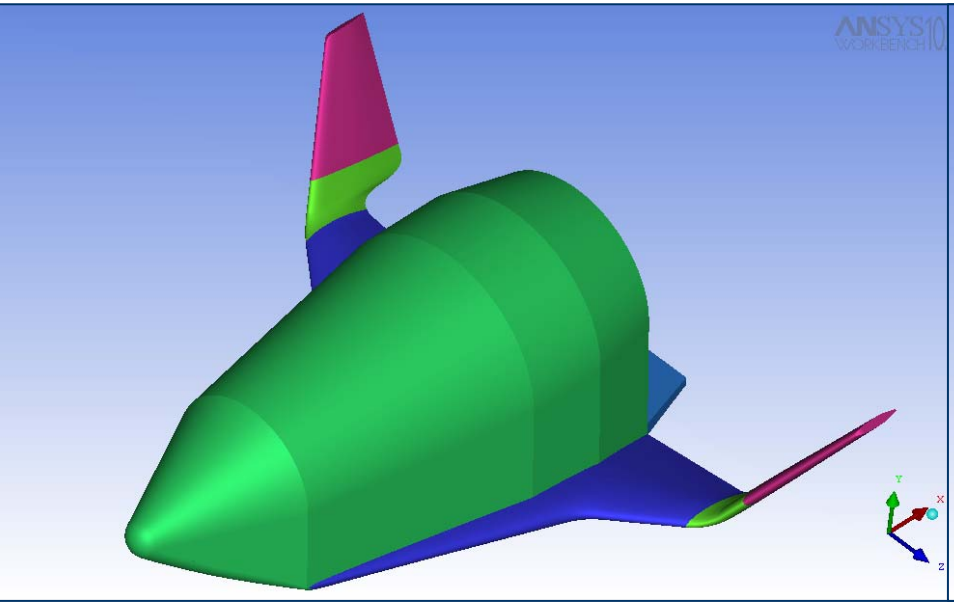


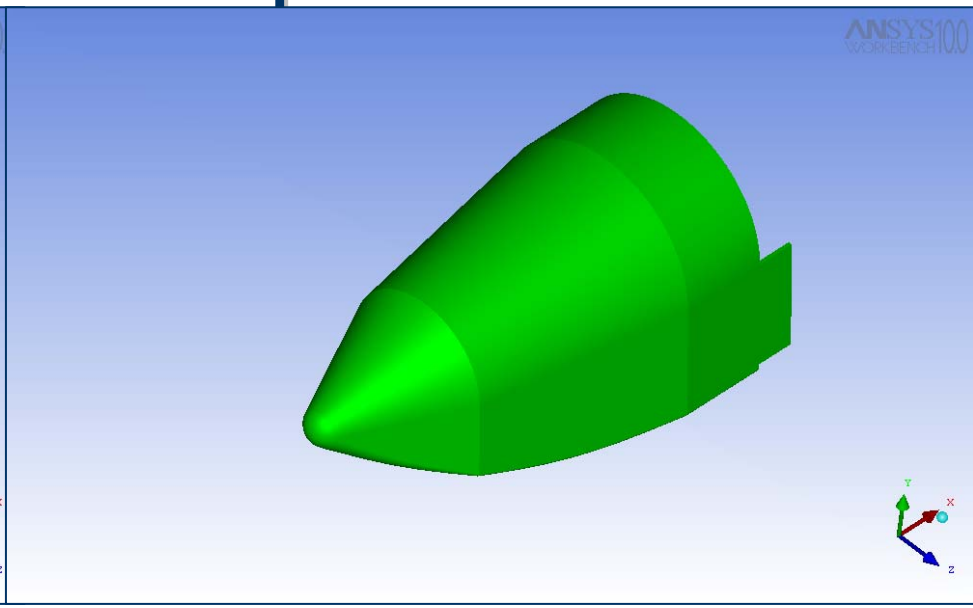
8-ми узловой кластер



Процессор	Intel Pentium 640 (3.2GGz EM64T)
Память	4x1GB DDR2 667
Операционная система	Linux SuSE10.0 x86_64
Программное обеспечение	ANSYS ICEMCFD 10.0, ANSYS CFX 10.0

Расчетное время





Узлы 5’665’972 (11’331’944)
Метод декомпозиции METIS
Кол.-во итераций 600
Расчетное время - 3 дня

Узлы 12’088’360
Метод декомпозиции METIS
Кол.-во итераций 1200
Расчетное время - 1 неделя

CAE-Services

⇒ 107497, Москва, Щёлковское ш., 77/79
⇒ (+7 916) 686-49-06 ICQ 413-740-236 Skype: AnpilovVN
⇒ request@cae-services.ru
⇒ www.cae-services.ru