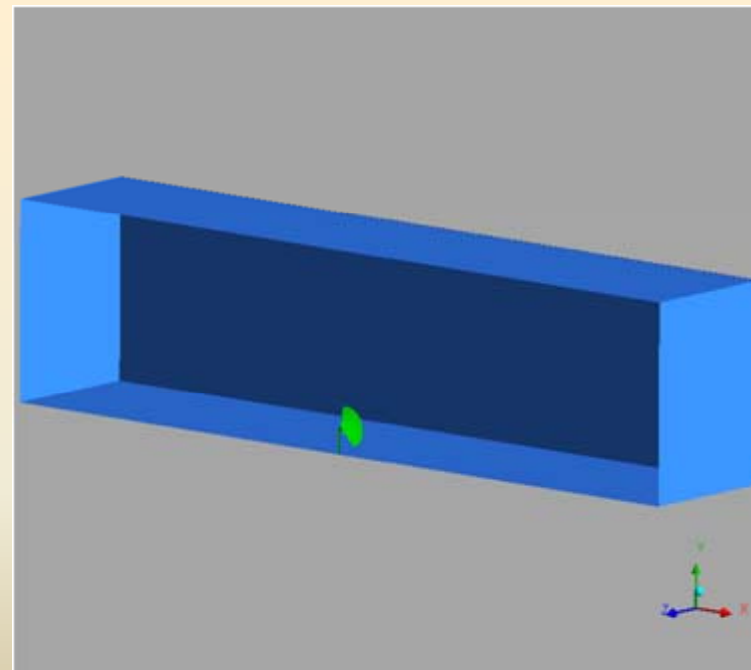
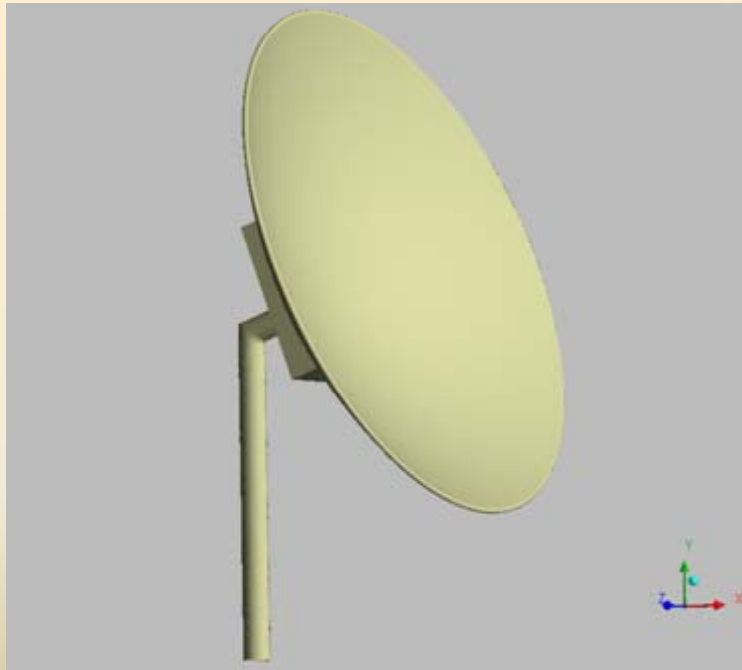


Расчет аэродинамических ветровых нагрузок, действующих на параболическую спутниковую антенну при ураганном ветре и шквале

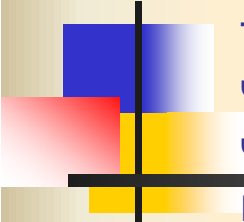
Н.Владимирова

- постановка задачи: геометрия, расчетная область и граничные условия
- топология и размер расчетной сетки
- результаты расчетов

Рассмотрена задача численного моделирования вязкого обтекания, расчета полей давления и скорости и определения аэродинамических ветровых нагрузок на параболическую осесимметричную спутниковую антенну. Антенна имеет фокусное расстояние 0,75 м, диаметр «тарелки» 2 м, и установлена на цилиндрической державке на высоте 0.5 м на поверхность земли или крыши здания (толщина параболоида 0.02 м, угол отклонения от вертикали 20°). Общий вид геометрии антенны и формы расчетного бокса представлен на этом слайде. Границы расчетного параллелепипеда удалены на 20 м вниз и вверх по направлению ветра (ось OX) и на 10 м и 7.5 м соответственно вдоль вертикального (Y) и бокового (Z) направлений.



Расчеты проводились на персональном компьютере Intel Pentium 4 CPU 2.00 GHz с объемом оперативной памяти 1 GB, тетраэдральная расчетная сетка с призматическими пограничными слоями (250 тыс. узлов).

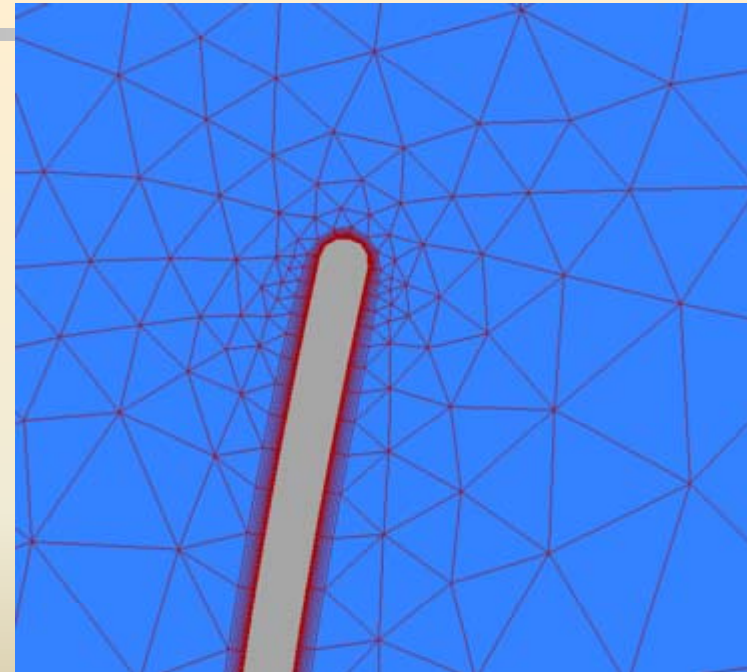
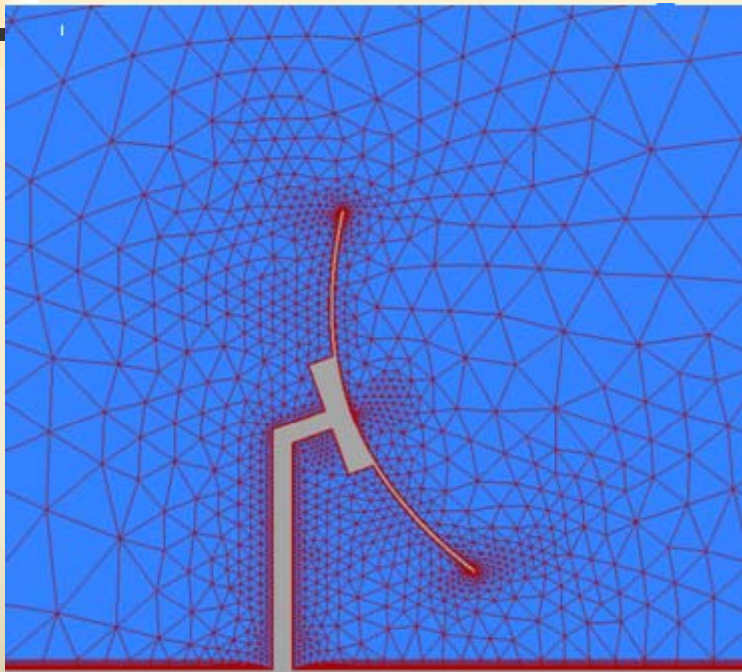


Для решения уравнений Навье-Стокса, описывающих вязкие турбулентные течения, использовался метод конечного объема, численная схема высокого порядка для конвективных и вязких членов и модель турбулентности *SST (Shear-Stress-Transport) $k-\omega$* , позволяющая моделировать течения с развитыми отрывными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

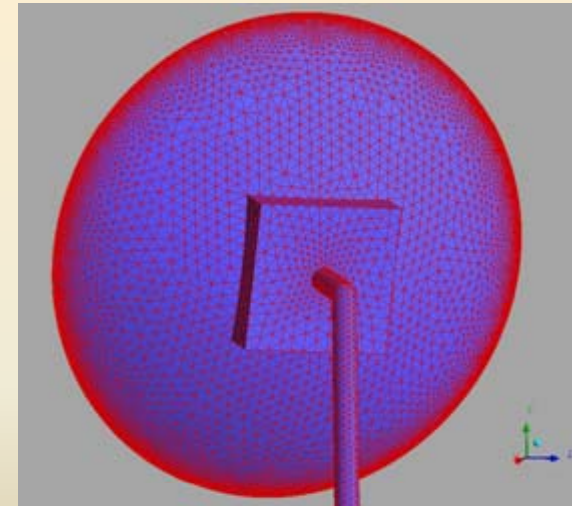
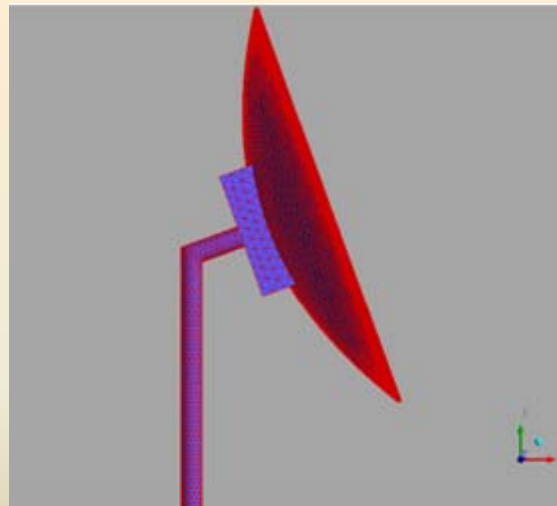
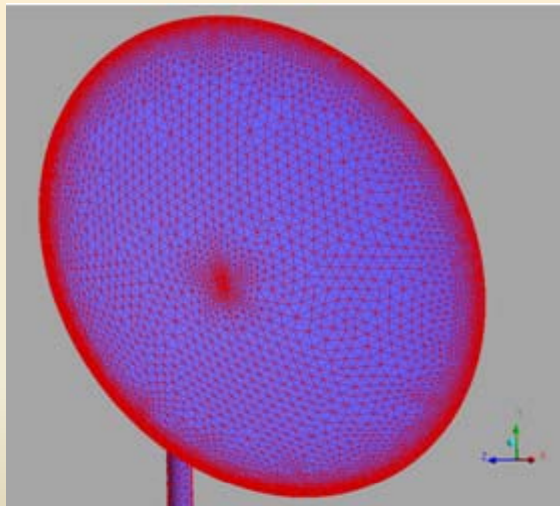
Для получения установившегося стационарного решения для каждого режима обтекания (скорость ветра 5, 25 и 50 м/с) требовалось осуществить 100-150 итераций, что соответствовало 2 – 3 часам работы персонального компьютера.

В расчетном параллелепипеде построена неструктурная тетраэдральная сетка с призматическими слоями вблизи твердых границ, имеющая 880 331 элемент (616 111 тетраэдров, 264 220 призм) и 248 444 узлов.

На границах расчетной области использовались граничные условия "Opening" (внешние грани параллелепипеда), "Wall" (на поверхности антенны и земли) и "Symmetry" (в вертикальной плоскости симметрии). Ниже представлены общий вид расчетной сетки в вертикальной плоскости симметрии вблизи антенны и поверхности земли (слева) и фрагмент сетки с призматическим пограничным слоем вокруг параболоида «тарелки» (справа).

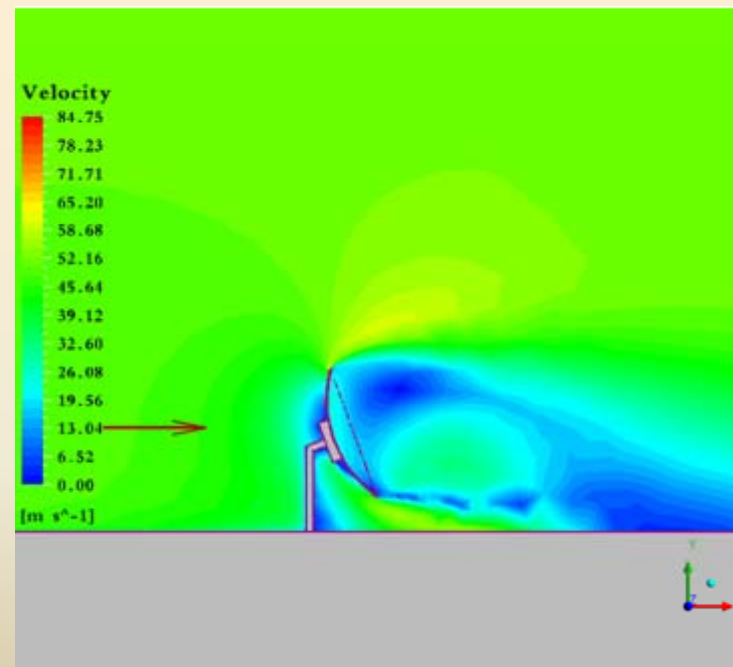
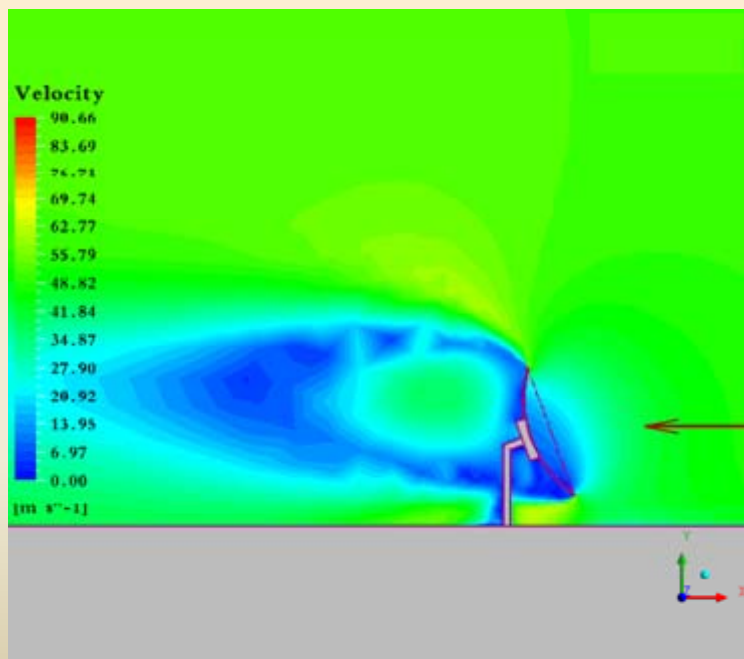


В областях резкого изменения кривизны поверхности, в окрестности изломов, которые могут провоцировать отрыв пограничного слоя, и в пограничном слое вблизи твердых стенок делалось специальное «прижатие» и сгущение ячеек сетки. На поверхности антенны вместе с державкой расположено 14 222 узла. Ниже показаны фрагменты треугольной сетки на поверхности антенны (вид спереди, сбоку и сзади).



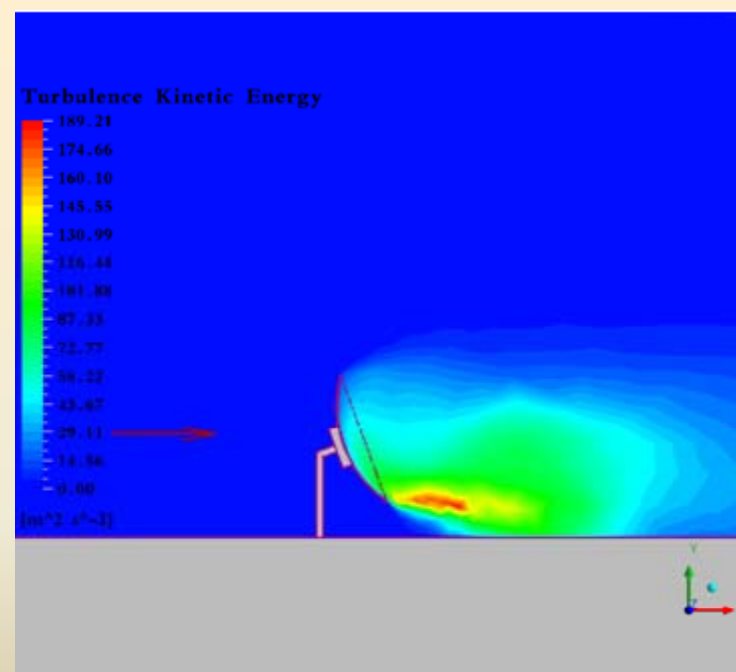
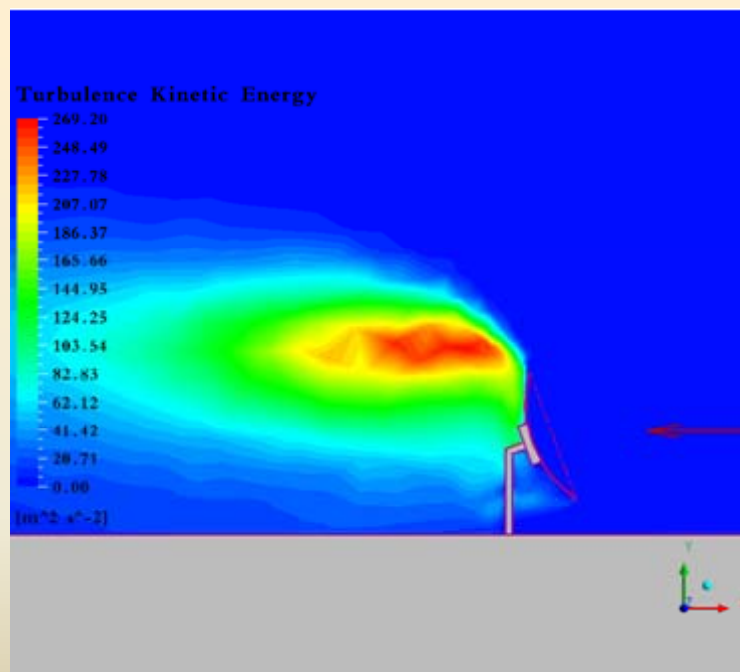
Численные расчеты поля скоростей и давления и суммарных ветровых нагрузок (вертикальной подъемной силы, горизонтальной силы – аэродинамического сопротивления и опрокидывающего момента) проводились для «спокойного» горизонтального ветра (скорость 5 м/с), ураганного порыва (25 м/с) и шквала (50 м/с) в стационарной постановке в диапазоне чисел Рейнольдса $Re=(0.7-6.6)\cdot 10^6$ соответственно. Рассмотрено два возможных варианта обтекания антенны – ветер дует «спереди» и «сзади».

Поле скоростей вокруг антенны в вертикальной плоскости симметрии при скорости ветра 50 м/с (направление ветра указано стрелкой)

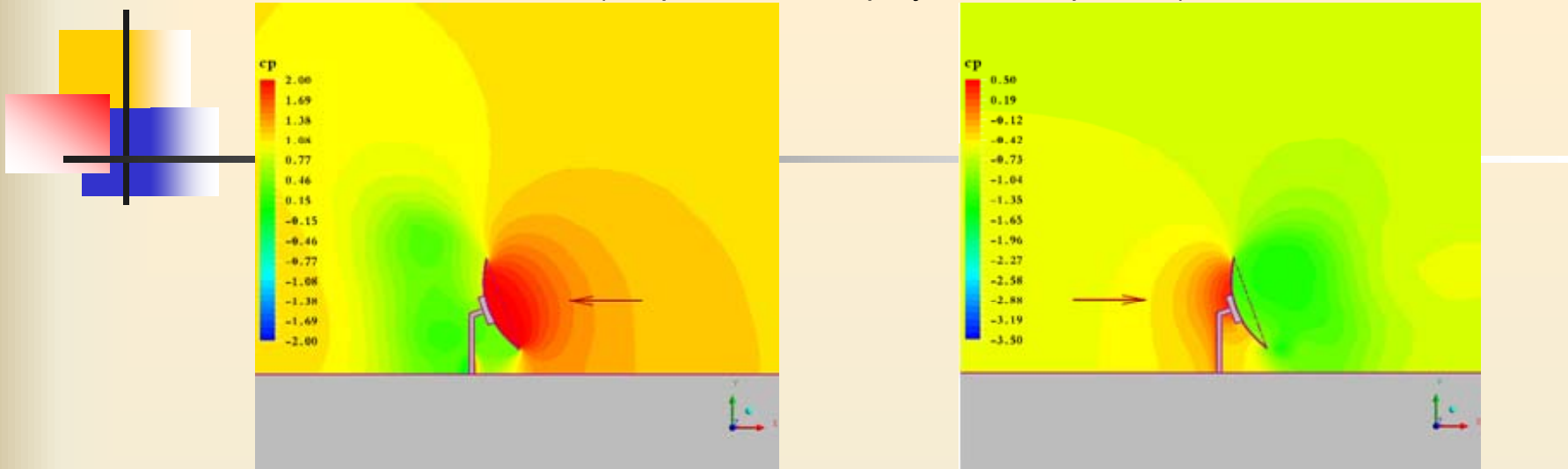


Спутниковая антенна – типичный пример плохообтекаемого тела, когда вниз по потоку от конфигурации возникает протяженная отрывная зона, обусловленная отрывом турбулентного пограничного слоя с острых или затупленных кромок, и характеризующаяся малыми величинами скорости течения («застойная» зона) и высокой плотностью турбулентной кинетической энергии.

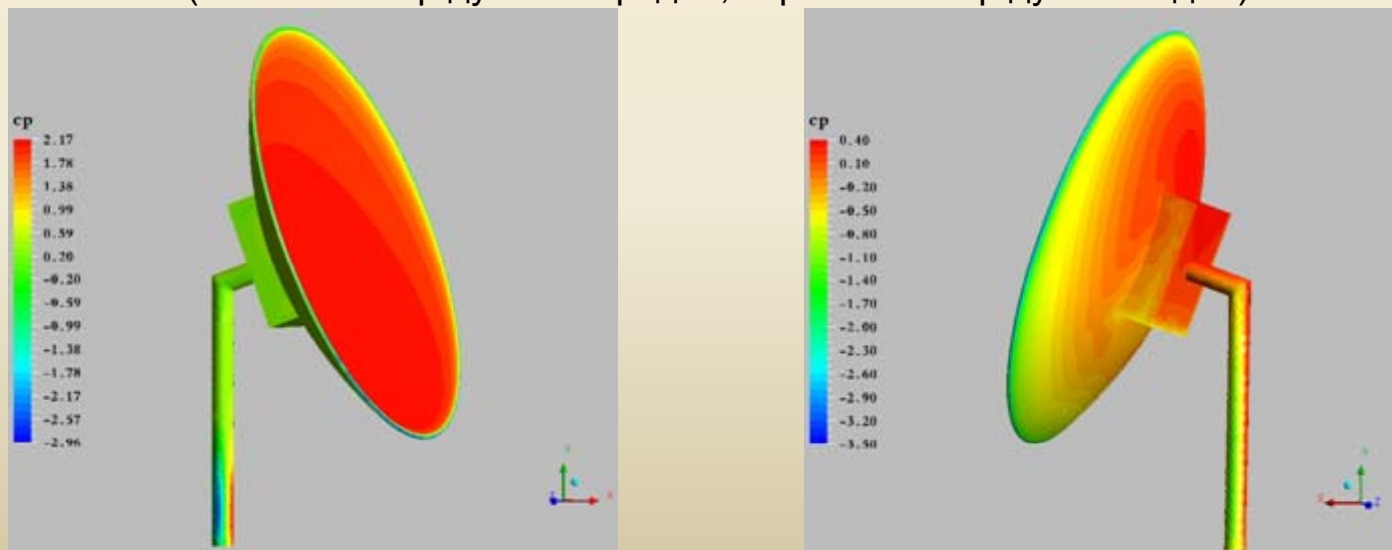
Распределение турбулентной кинетической энергии в плоскости симметрии вокруг антенны при скорости ветра 50 м/с (направление ветра указано стрелкой)



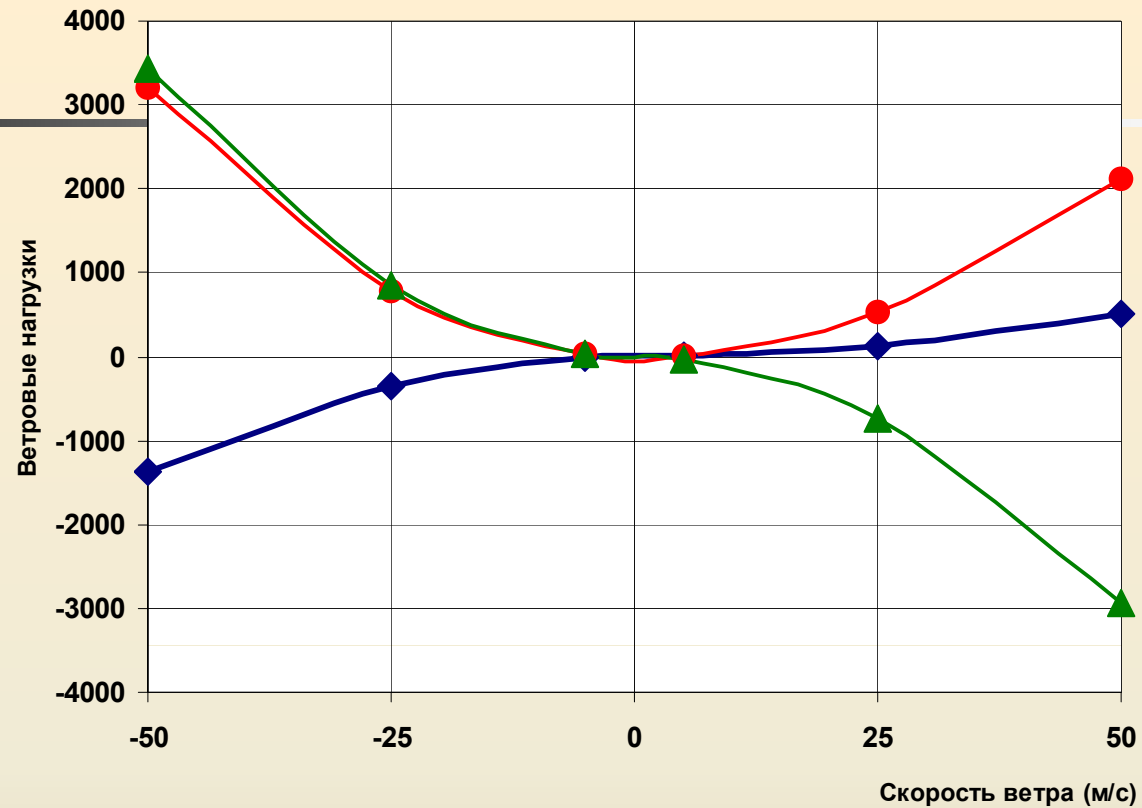
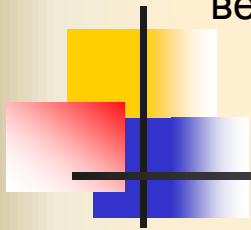
Поле давления в плоскости симметрии вокруг антенны при скорости ветра 50 м/с
(направление ветра указано стрелкой)



Распределение коэффициента давления на поверхности антенны при скорости ветра 50 м/с
(слева – ветер дует «спереди», справа – ветер дует «сзади»)

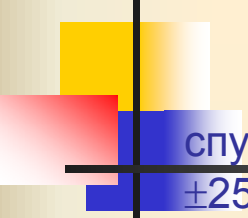


Зависимость ветровых нагрузок (силы – в ньютонах, момент – в нм) от скорости ветра («-» - ветер набегает на тарелку «спереди», «+» - ветер набегает «сзади»)



- ◆ Вертикальная нагрузка (н)
- Сопротивление (н)
- ▲ Опрокидывающий момент (нм)

Краткий анализ результатов и выводы



Расчеты ветровых нагрузок, действующих на параболическую спутниковую телевизионную антенну при скоростях набегающего ветра $\pm 5\text{ м/с}$, $\pm 25\text{ м/с}$ и $\pm 50\text{ м/с}$, проведенные на персональном компьютере, показали высокую точность газодинамического пакета программ и позволили отразить основные особенности отрывного турбулентного обтекания антенны как плохообтекаемого тела. Численное моделирование обтекания антенны ветром, дующим в двух направлениях – «спереди» и «сзади», показало, что ветер «спереди», когда «тарелка» установлена как бы под отрицательным углом атаки, а вогнутость параболоида приводит к возникновению эффекта «парусности», создает в 1.5-2 раза большие величины нагрузок, в сравнении с ситуацией, когда ветер дует в торец антенны, т.е. «сзади». Определены коэффициенты C_y , C_x , M_z соответственно вертикальной и горизонтальной (срезающей) сил и опрокидывающего момента. В случае ветра «спереди» абсолютные значения коэффициентов составляют $C_y=0.57-0.58$, $C_x=1.32-1.35$, $M_z=0.71-0.73$; при ветре «сзади» $C_y=0.21-0.24$, $C_x=0.89-0.94$, $M_z=0.62-0.64$ (в качестве характерной площади и размера взяты площадь плановой проекции «тарелки» и ее диаметр).

Полученные результаты, могут быть непосредственно использованы для расчетов конструкции спутниковой антенны на прочность и определения предельных нагрузок и норм прочности для ураганных ветровых порывов и шквалистого ветра.