

РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА КУПОЛ, РАСПОЛОЖЕННЫЙ НА КРЫШЕ ЗДАНИЯ

Н.А. Владимирова , А.С. Шадский

Современные программные комплексы позволяют проводить численное моделирование стационарного и нестационарного турбулентного отрывного обтекания ветровым потоком заведомо плохообтекаемых тел не «аэродинамической» формы - зданий и их элементов с целью определения ветровых нагрузок.

В данной работе приведены результаты предварительных расчетов ветровых нагрузок на сферический купол, расположенный на крыше отдельно стоящего схематизированного 3-х этажного здания, при воздействии стационарного постоянного ветра.

Постановка задачи, геометрия и расчетная сетка

В расчет закладывалась следующая геометрия и параметры ветра:

- диаметр купола 26.5 м, высота купола 4.4 м
- здание – параллелепипед 100 м x 40 м x 15 м
- расчетная область – параллелепипед 1000 м x 400 м x 150 м
- скорость горизонтального ветра 10 м/с
- температура воздуха 20°C
- давление 1 атм

На Рис. 1 показана геометрия купола в вертикальной диаметральной плоскости.

На Рис. 2 - треугольная расчетная сетка на поверхности купола (красный цвет), здания (черный цвет) и земли (зеленый цвет).

Пространственная сетка имеет 254 тыс. узлов и состоит из 843 тыс. объемных элементов (тетраэдров, призм и пирамид).

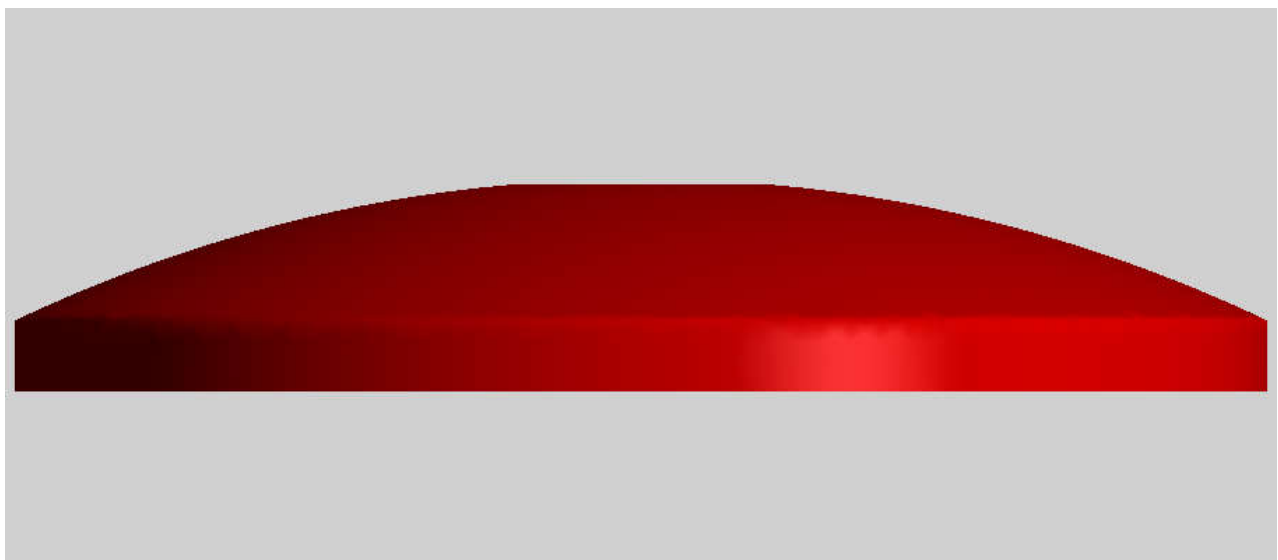


Рис. 1. Форма купола

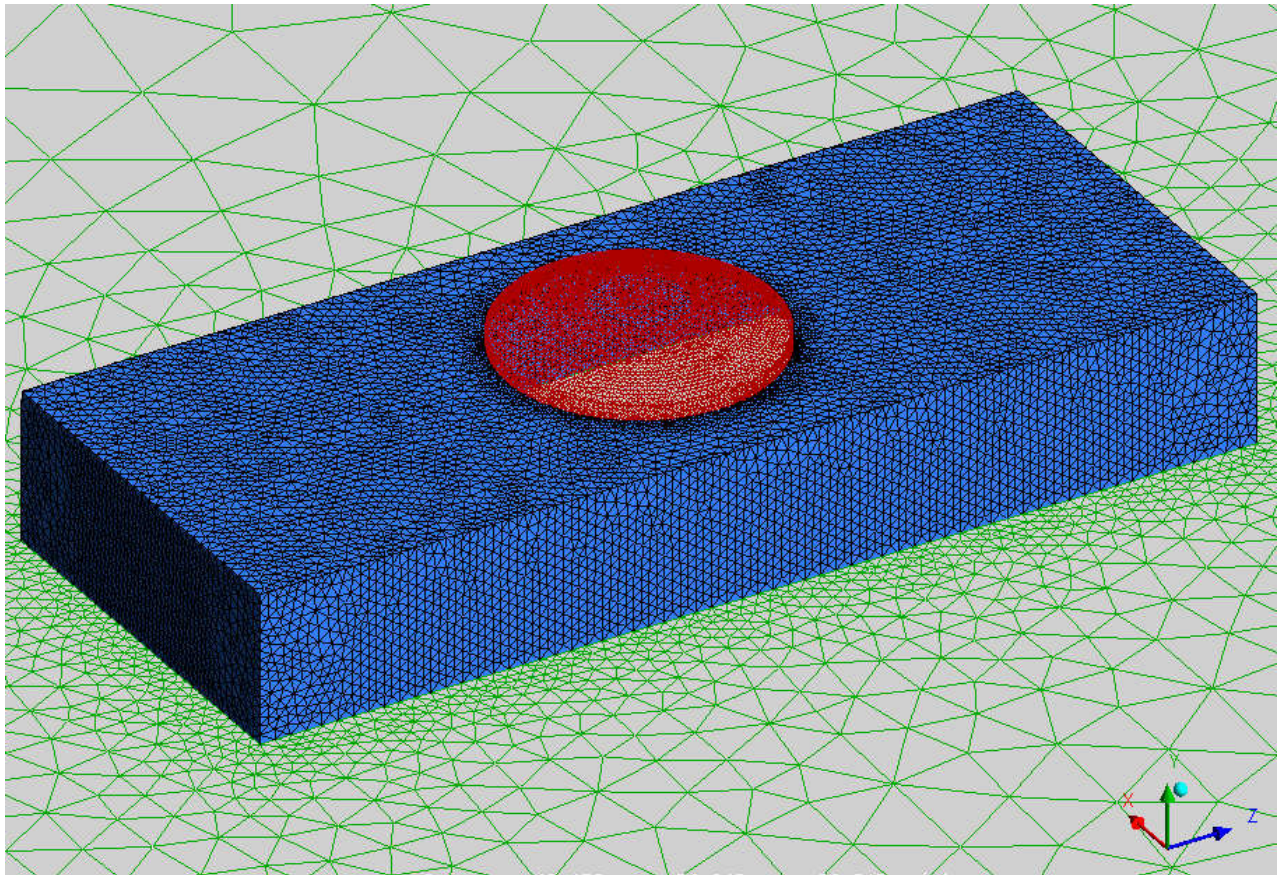


Рис. 2. Поверхностная сетка

Результаты расчетов

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 турбулентными отрывами.

На Рис. 3-4 представлено поле скоростей и линии тока вокруг здания с куполом в вертикальной плоскости, проходящей через середину здания.

Боковой горизонтальный ветер набегаёт слева на фасад здания со скоростью 10 м/с (показано черной стрелкой).

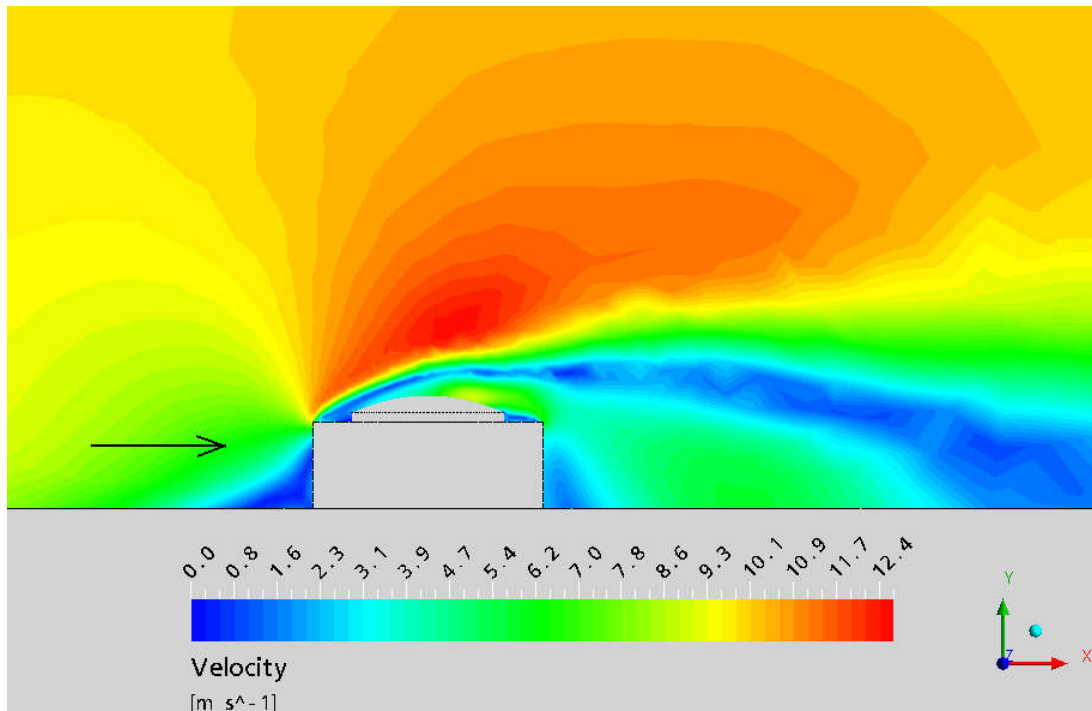


Рис. 3. Поле скоростей

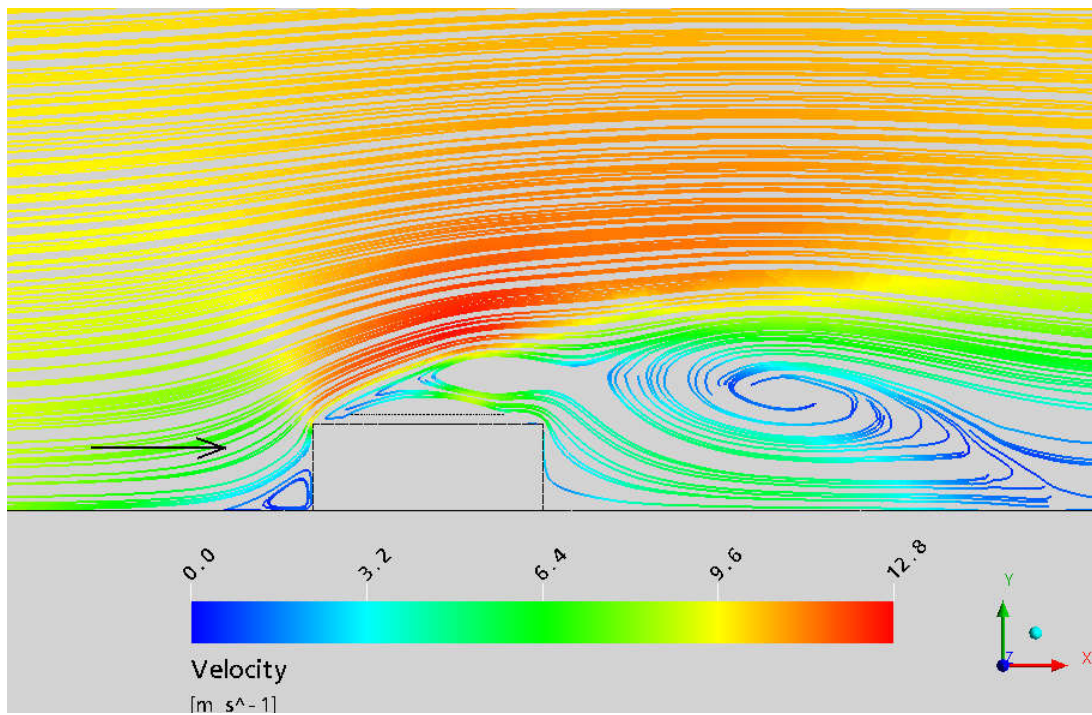


Рис. 4. Линии тока

Здание с куполом является типичной с точки зрения аэродинамики плохо обтекаемой конфигурацией, перед фасадом здания наблюдается застойная зона с торможением потока, за зданием формируется обширная отрывная область с возвратными вихревыми течениями.

Купол находится в зоне срывного течения и, соответственно, в зоне повышенных турбулентных пульсаций, где возникают турбулентные вихревые образования (Рис. 5). Обтекание здания является турбулентным (число Рейнольдса задачи $Re=2 \cdot 10^7$), и течение имеет ярко выраженный отрывной характер.

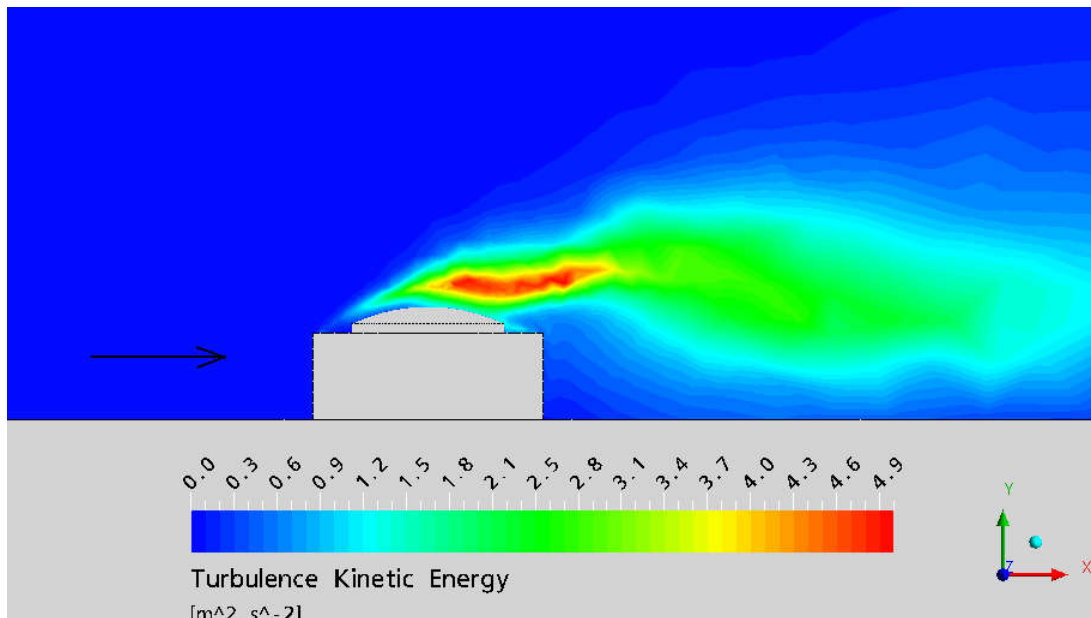


Рис. 5. Поле энергии турбулентных пульсаций

На Рис. 6 представлено поле коэффициента давления C_p . На наветренной стене фасада здания наблюдается практически постоянное значение избыточного давления с положительным коэффициентом $C_p=0.8$, вблизи подветренной стороны купола, наоборот, возникает сильное разрежение с коэффициентом $C_p=(-1.0) - (-1.1)$.

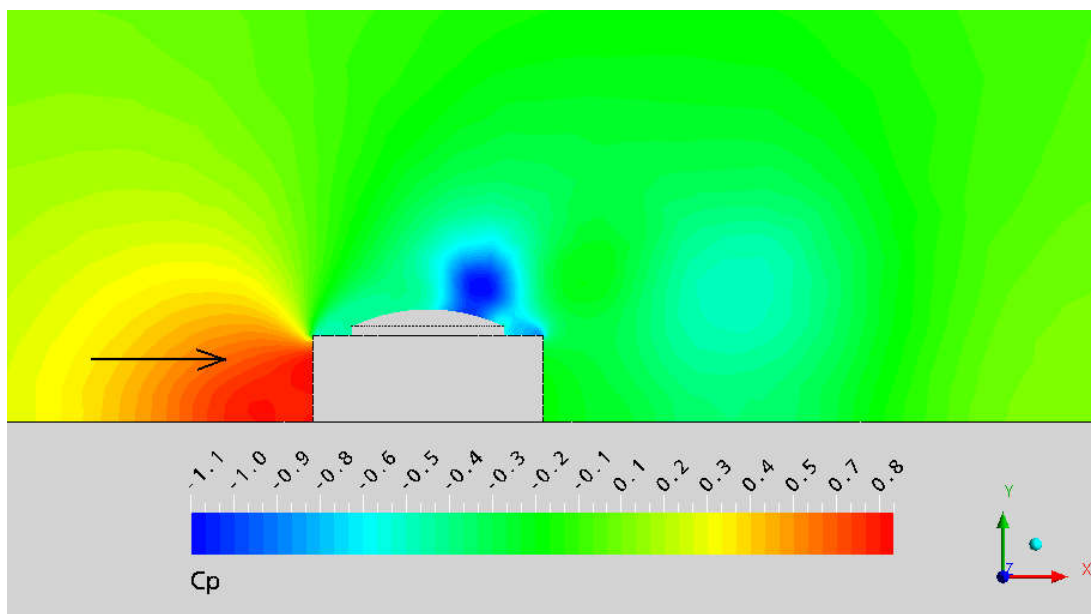


Рис. 6. Поле давления (коэффициент C_p)

На Рис. 7 представлено распределение коэффициентов давления C_p (для средних значений квазистационарного решения) на поверхности купола.

Как видно, весь купол находится в зоне разрежения с отрицательными значениями C_p .

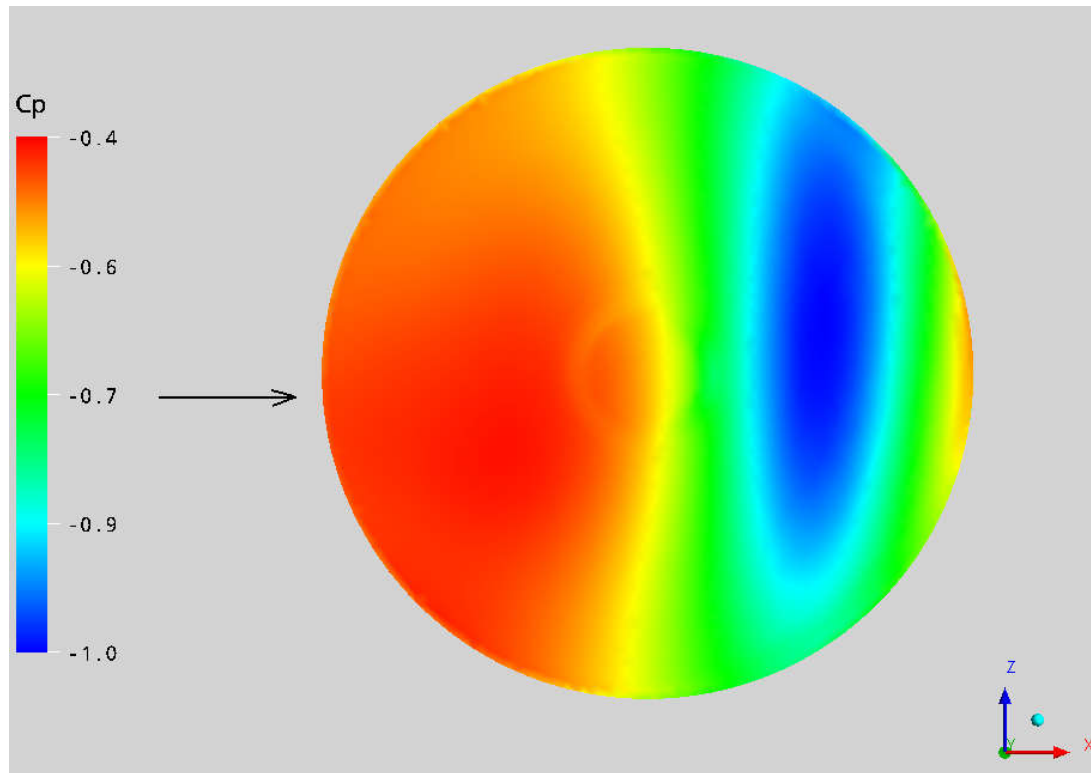


Рис. 7. Распределение давления (коэффициентов C_p) на поверхности купола

Проведенные расчеты показали, что воздействие бокового ветра на рассмотренную конфигурацию, состоящую из схематизированного здания в виде параллелепипеда с круглым куполом на крыше, по своей физической природе является турбулентным, отрывным и вследствие этого нестационарным.

Решая задачу в стационарной постановке, можно получить лишь некоторое квазистационарное квазипериодическое решение.

Нестационарная постановка задачи позволяет определить зависимость основных параметров течения от времени и рассчитать период возникающих колебаний решения, обусловленных разрушением симметрии и стационарности задачи вследствие отрывов турбулентных пограничных слоев и периодического зарождения и схода турбулентных вихрей с крыши и купола здания, их движения вниз по потоку воздуха и постепенного диффундирования.

На Рис. 8 показана зависимость от времени шести координатных составляющих ветровых аэродинамических нагрузок (нормальных к поверхности сил давления и тангенциальных сил трения воздуха).

По горизонтальной оси отложено число итераций по времени, один шаг по времени составляет 0.5 с, по вертикальной оси отложена величина ветровой нагрузки (силы в ньютонах).

Зависимость от времени близка к периодической с периодами, лежащими в диапазоне 30-50 с.

Зеленые кривые соответствуют значениям вертикальной отрывающей («подъемной») силе, действующей на весь купол.

Из расчетов видно, что турбулентный нестационарный характер обтекания купола приводит к колебательному характеру изменения вертикальной ветровой нагрузки с достаточно большой амплитудой.

В этом случае минимальная и максимальная вертикальные силы, действующие на купол, отличаются более чем в 2 раза.

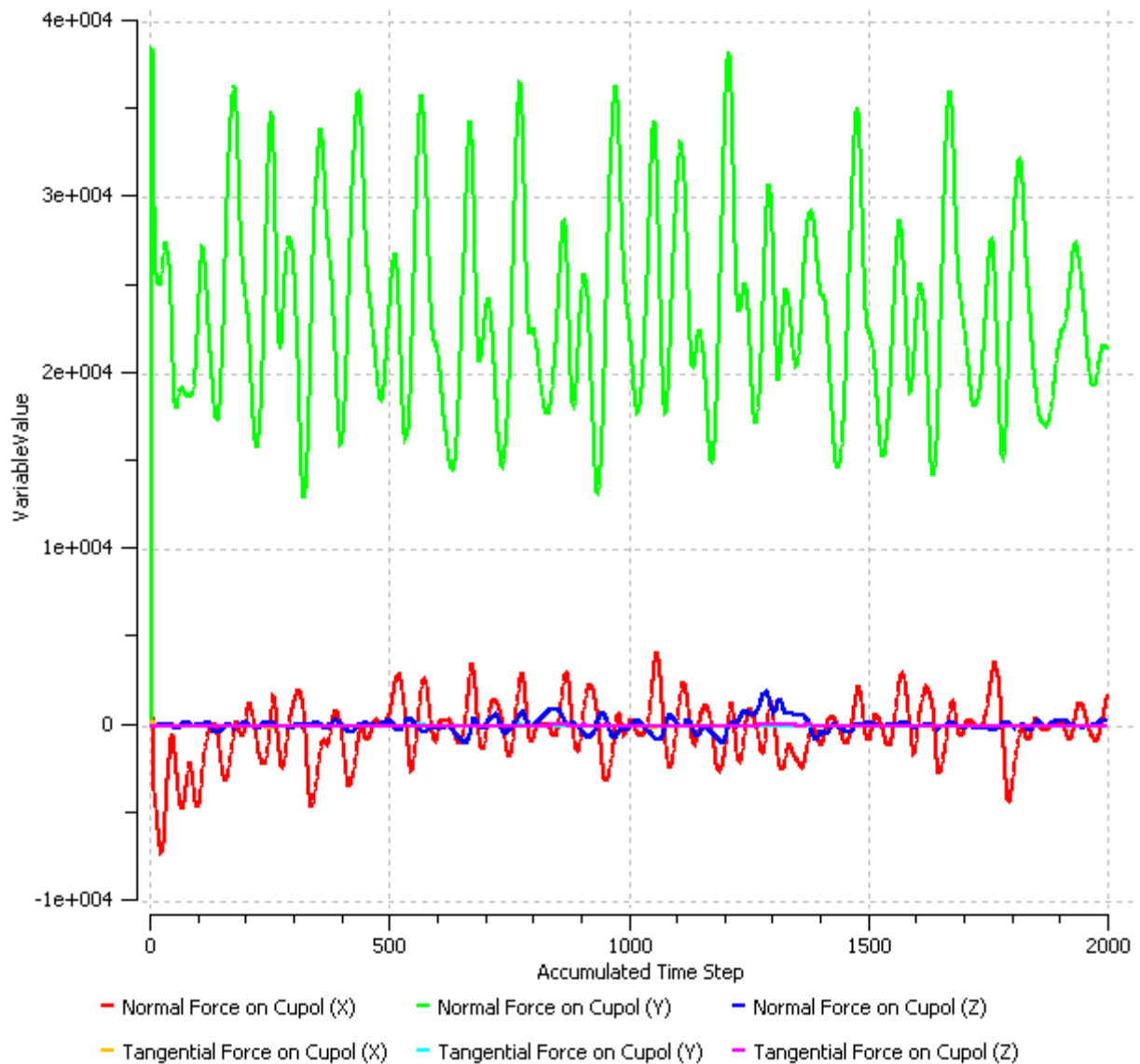
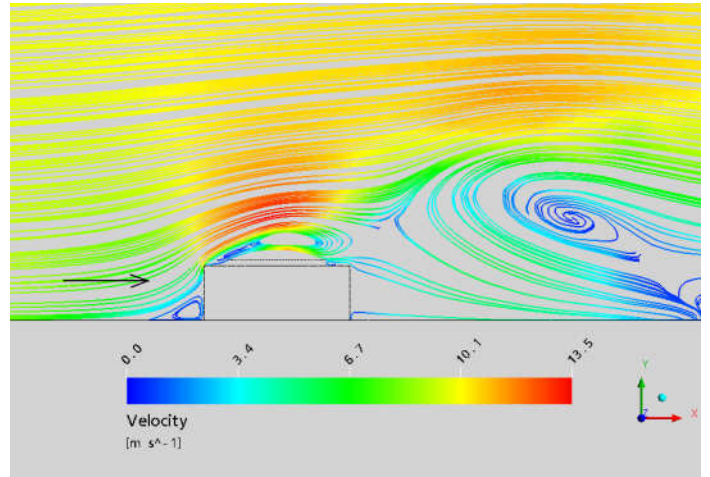
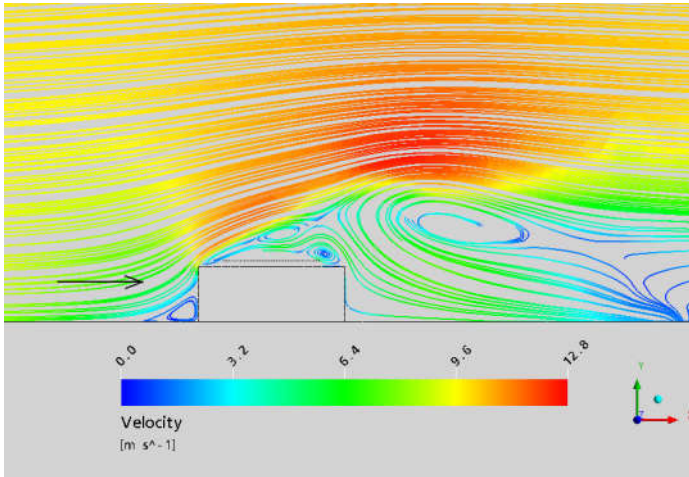


Рис. 8. Периодический характер ветровых нагрузок (силы в ньютонах), действующих на купол

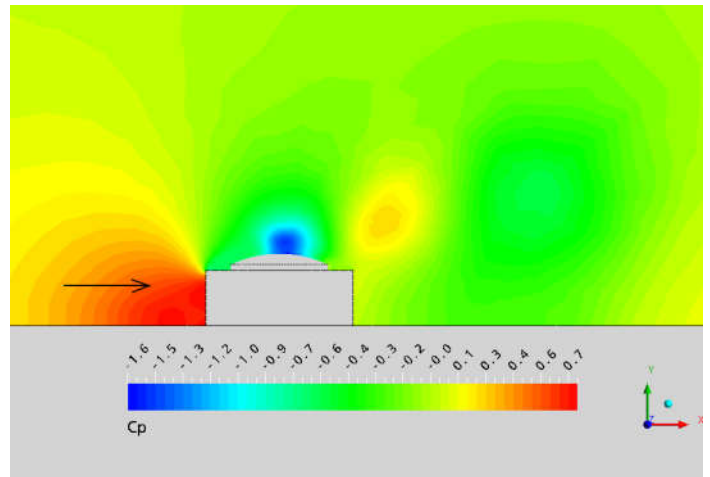
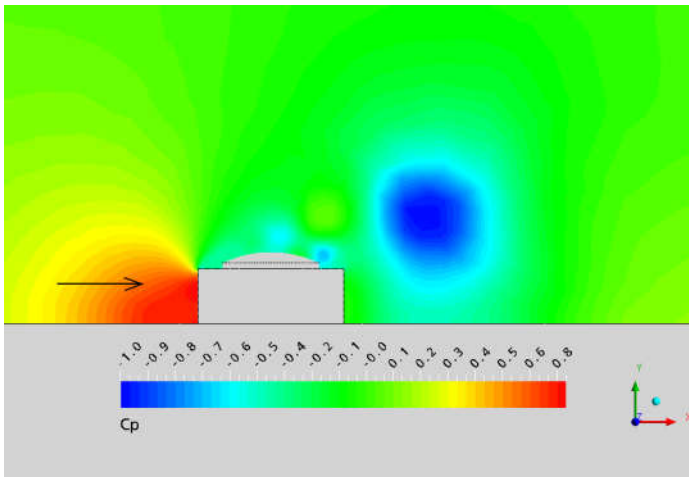
Для пояснения и иллюстрации вышесказанного на Рис. 9 приведены картины линий тока и поле коэффициентов давления в срединной вертикальной плоскости, и распределение давления на поверхности купола соответственно для двух разных моментов времени, когда реализуется минимальная (левый столбец) и максимальная (правый столбец) вертикальная ветровая нагрузка (Y_{\min} и Y_{\max}).

Минимальная ветровая нагрузка на купол
 $Y_{min}=13 \cdot 10^3 \text{ Н}$

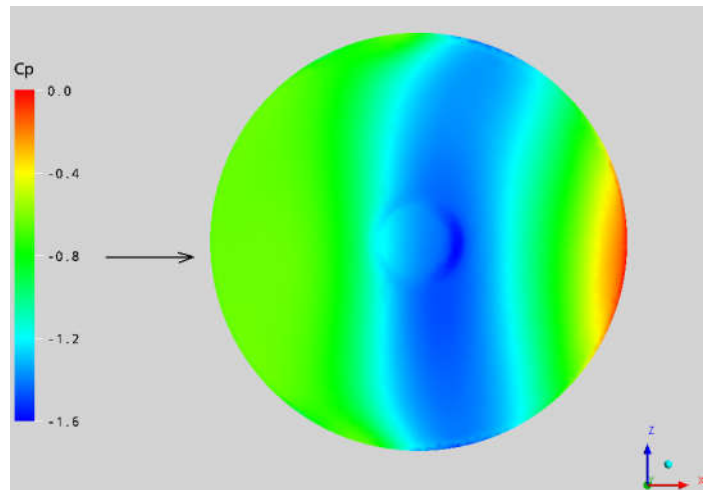
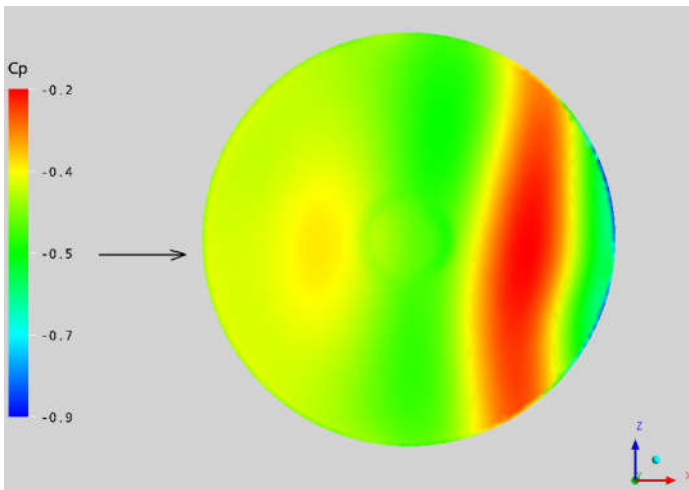
Максимальная ветровая нагрузка на купол
 $Y_{max}=33 \cdot 10^3 \text{ Н}$



Линии тока



Поле давления



Распределение давления на поверхности купола

Рис. 9.

Следует отметить, что выявленные в результате расчетов основные особенности и закономерности обтекания здания с куполом сферической формы на крыше (колебательный характер ветровых нагрузок по времени), полученные для скорости постоянного ветра 10 м/с, дующего перпендикулярно фасаду здания, сохраняются и при меньшей скорости ветра (2 м/с, 5 м/с), и при боковом ветре, направленном в боковой торец здания.

Необходимо отметить также, что полученные результаты расчетов, дополняют и уточняют содержание «СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Приложение 4. Схемы ветровых нагрузок и аэродинамические коэффициенты c » и находятся в полном качественном и количественном соответствии с этим документом применительно к изложенным в нем достаточно простым схемам ветрового нагружения, без учета интерференции и кривизны поверхности элементов конструкции зданий.

Выводы

Проведенный численный расчет аэродинамических коэффициентов и ветровых нагрузок, действующих на сферический купол, расположенный на крыше схематизированного здания при обдуве постоянным ветром со скоростью 10 м/с, выявил турбулентный, колебательный характер обтекания и нагружения купола.

Изменение по времени вертикальной «отрывающей» силы ветра, действующей на весь купол в целом, носит колебательный характер, обусловленный нестационарным турбулентным вихревым обтеканием конструкции здания с куполом.

Частота длинноволновых колебаний составляет 30-50 секунд, амплитуда порядка 40% средней ветровой нагрузки.

Таким образом, при дальнейших прочностных расчетах конструкции купола и его креплений (несущие балки, элементы крепления, сварные швы и т.п.) на статические и динамические ветровые нагрузки необходимо учитывать их возможный колебательный характер, что может вызвать необходимость выполнения гармонического и спектрального анализа помимо статического.

Особенно важно учитывать возможные периодические забросы ветровых нагрузок в расчетах на предельное нагружение при определении запаса прочности конструкции купола при ураганном ветре и шквале, когда скорость ветра может достигать 25-30 м/с, а ветровые нагрузки на купол - нескольких десятков и сотен тонн.