МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРА НА АЭРОДИНАМИКУ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И РАСЧЕТ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

Н.А.Владимирова

Введение

Сокращение свободных территорий под строительство в Москве и других крупных городах приводит к необходимости строить высотные здания.

Высотное здание — это сложный организм, где должны быть взаимоувязаны все проектные решения инженерных систем.

В России нет опыта проектирования и длительной эксплуатации таких зданий. Аэродинамический режим обтекания высотного здания характеризуется повышенными значениями давления ветра.

Если для малоэтажных зданий ветровое давление принято считать равномерно действующим на все здание по высоте, то для высотного здания при расчете ветровых нагрузок и тепловых потерь необходимо учитывать рост скорости ветра по высоте. Повышенная высота здания определяет процесс обтекания его ветром.

Воздух перемещается над кровлей в верхней части здания в заветренную зону, на наветренной стороне воздух у поверхности фасада перемещается с уменьшением скорости вниз и в стороны к боковым фасадам в заветренную зону; по направлению к земле происходит рост скорости перемещения воздуха к боковым фасадам в заветренную вихревую зону.

Давление верхних слоев воздуха на нижние слои при обтекании здания потоком ветра приводит к увеличению подвижности воздуха у поверхности земли.

Аэродинамика высотного здания влияет, во-первых, на его конструктивную прочность, а во-вторых, на разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций здания, что в свою очередь определяет направление и величину фильтрации воздуха через наружные ограждающие конструкции.

Кроме этого, наружная поверхность здания, подверженная воздействию солнечной радиации, в летнее время достаточно сильно нагревается, что приводит к образованию восходящих потоков теплого воздуха в приповерхностном слое.

Из-за больших ветровых нагрузок на высотные здания возникает определенная опасность при открывании окон верхних этажей для их очистки или проветривания помещений. Особую опасность вызывает случай одновременного открывания в помещении окон, ориентированных на наветренную и подветренную стороны здания.

В этом случае в помещении могут возникнуть очень сильные воздушные потоки. Для предотвращения этого необходимо использовать автоматику, запрещающую одновременное открытие окон, если скорость ветра превышает заданную величину.

В районах со слабой сейсмичностью ветровые воздействия на высотные здания являются, по существу, основными, а в целом аэродинамическое воздействие наружного климата на высотное здание является экстремальным.

Поэтому исследования аэродинамики занимают значительную часть в общем объеме проектных работ.

правило, должны себя физическое эти исследования включать В трубе аэродинамической математическое моделирование с И применением современной вычислительной техники, новейших компьютерных технологий и программных комплексов.

Основные трудности при проектировании высотных зданий состоят в том, что используемые до настоящего времени Строительные нормы и правила (СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Раздел 6. Ветровые нагрузки. Приложение 4. Схемы ветровых нагрузок и аэродинамические коэффициенты c) не содержат рекомендаций по назначению аэродинамических коэффициентов для сложных по форме и крупногабаритных сооружений, в том числе для высотных зданий.

По этой причине в проекты закладываются ветровые нагрузки на элементы сооружений, зачастую заниженные в 3-4 раза, что может привести и иногда приводит к разрушению конструкции.

При подготовке новых Московских Городских Строительных Норм (МГСН 4.19-05 - "Многофункциональные высотные здания и комплексы") закладывалось, что расчеты аэродинамических ветровых нагрузок должны быть основаны на результатах аэродинамических испытаний крупномасштабных макетов (кроме одиночно стоящих высотных зданий простой формы).

Современные расчетно-вычислительные программные комплексы, позволяют на базе самых современных вычислительных технологий и численных методов проводить прямое численное моделирование стационарного и нестационарного турбулентного отрывного обтекания ветровым потоком высотных зданий (как отдельно стоящих на земле, так и комплексы зданий) и определять аэродинамические коэффициенты и ветровые нагрузки на стены зданий.

В данной работе для демонстрации возможностей расчетного пакета применительно к моделированию аэродинамики высотных зданий и с целью определения точности и области применимости СНиП 2.01.07-85 для расчета ветровых нагрузок рассмотрена модельная задача обтекания отдельно стоящего схематизированного высотного здания при воздействии стационарного постоянного ветра.

Постановка модельной задачи, геометрия и расчетные сетки

Задача воздействия постоянного ветра на высотное здание прямоугольной формы, установленное на плоской поверхности земли, рассмотрена в двумерной стационарной постановке.

Скорость ветра принималась постоянной по высоте и равной 10 м/с.

Высотное здание моделировалось плоским прямоугольником с различным соотношением сторон – высоты H и ширины b – H/b=1,3,5,7,10.

Расчеты проводились на персональном компьютере Intel Pentium 4 CPU 2.00 GHz с объемом оперативной памяти 2 GB.

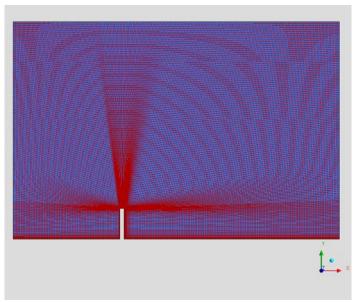
Для решения уравнений Навье-Стокса, описывающих вязкие турбулентные течения, использовался метод конечного объема, численная схема высокого порядка для конвективных и вязких членов и модель турбулентности SST (Shear-Stress-Transport) k- ω , позволяющая моделировать как безотрывные течения, так и течения с развитыми турбулентными отрывами.

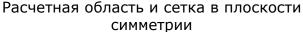
Для получения установившегося стационарного решения для одного режима обтекания (заданы геометрия здания, скорость и направление ветра) требовалось осуществить 500-600 итераций, что соответствовало 2.5 – 3 часам работы центрального процессора персонального компьютера.

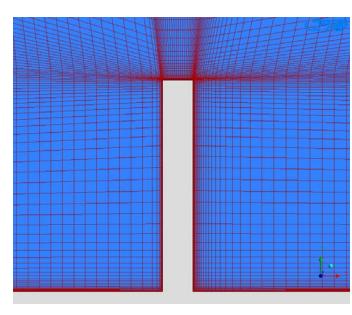
В квазидвумерной расчетной области для каждой геометрии модельного высотного здания, стоящего на поверхности земли, были построены гексаэдральные сетки с прижатыми пограничными слоями вблизи твердых границ, имеющие в среднем по 100 тыс. узлов.

На границах расчетной области использовались граничные условия типа "Opening" (внешний прямоугольник), "Wall" (на поверхности здания и земли) и "Symmetry" (в плоскостях симметрии).

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 Рис. 1 представлены общий вид расчетной области и сетки в плоскости симметрии (слева) и фрагмент сетки с прижатыми слоями в пограничном слое вокруг здания и на поверхности земли (справа).







Фрагмент сетки с прижатыми пограничными слоями

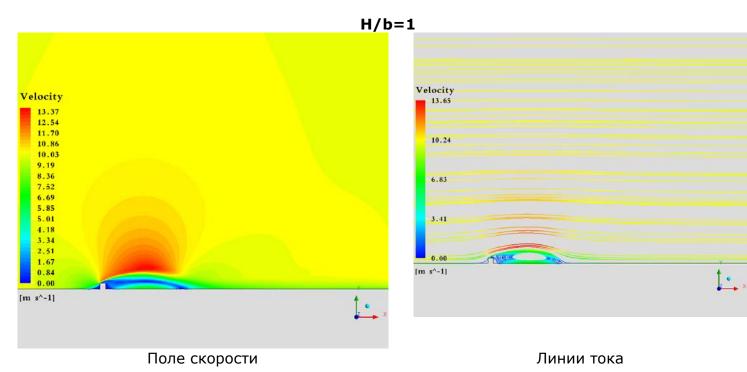
Рис. 1

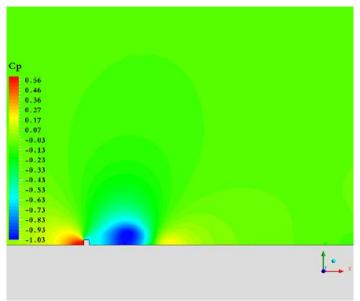
Результаты расчетов

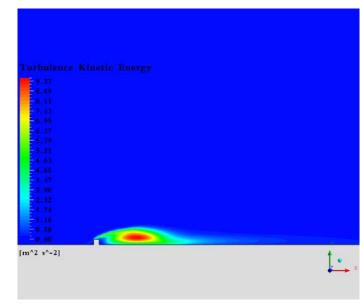
На Рис. 2-6 представлены результаты расчетов полей скорости, линий тока аэродинамического коэффициента давления Ср ($Cp=2\cdot(P-P_{aтм})/\rho\cdot V^2$) и энергии турбулентных пульсаций для 5-ти значений относительной высоты здания H/b=1,3,5,7,10.

Равномерный горизонтальный ветер имеет скорость 10 м/с и дует слева по направлению к зданию прямоугольной формы.

Характерное число Рейнольдса, рассчитанное по ширине здания $b=20\,$ м, составляет $Re=1.4\cdot10^7.$



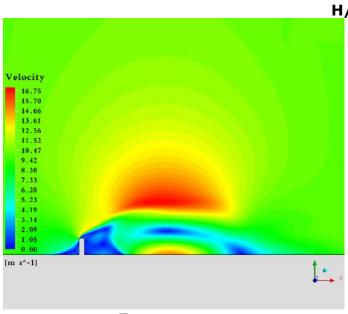


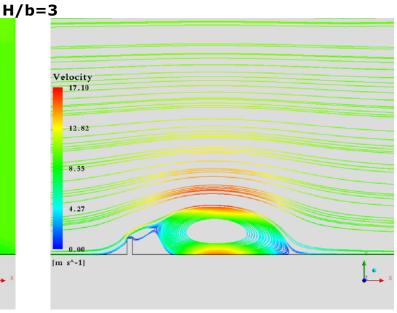


Поле коэффициентов давления

Поле турбулентных пульсаций

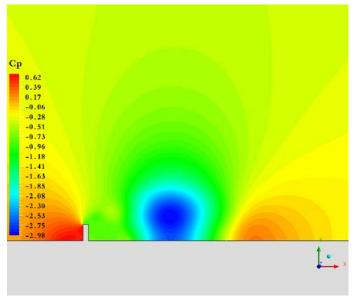
Рис. 2

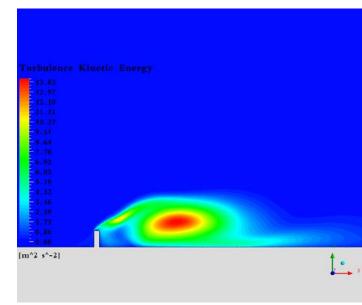




Поле скорости

Линии тока

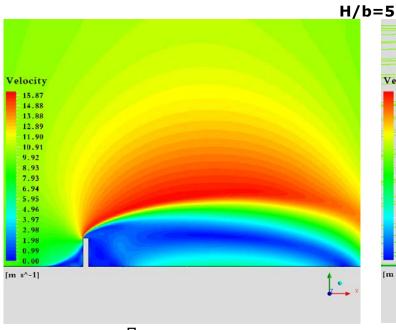


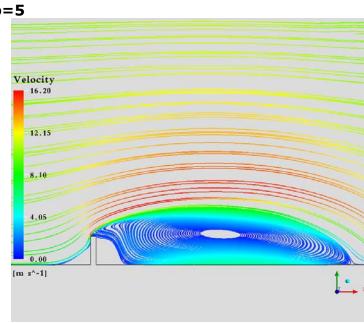


Поле коэффициентов давления

Поле турбулентных пульсаций

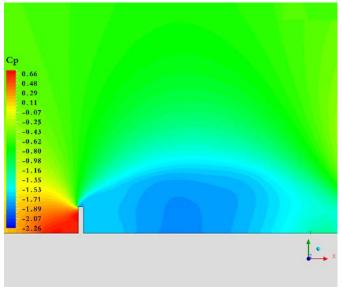
Рис. 3

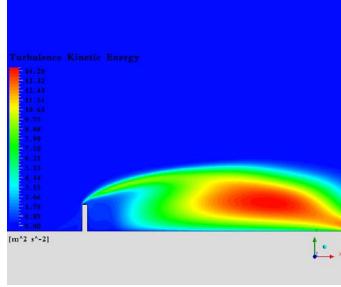




Поле скорости

Линии тока

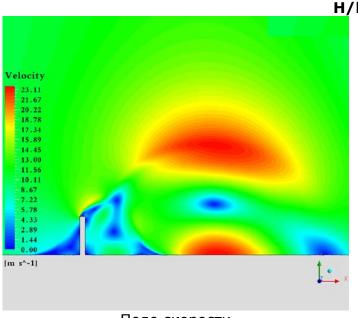


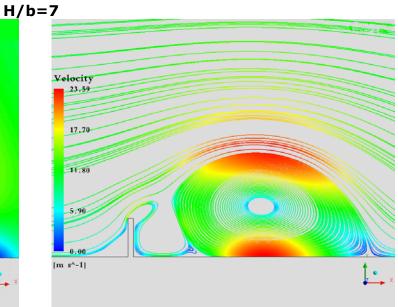


Поле коэффициентов давления

Поле турбулентных пульсаций

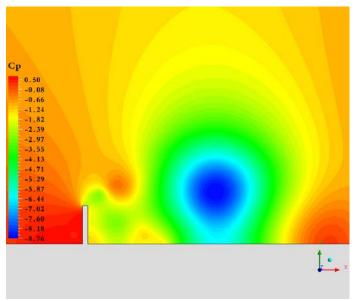
Рис. 4

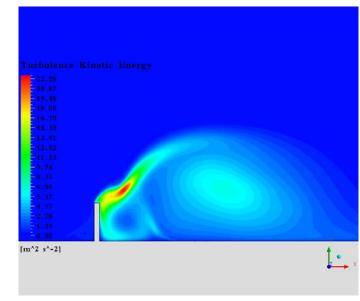




Поле скорости

Линии тока

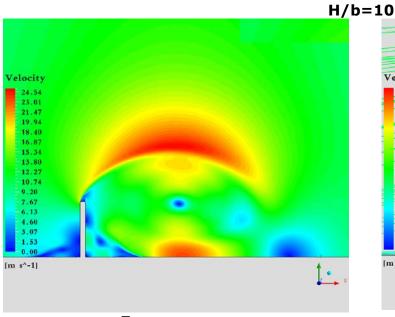


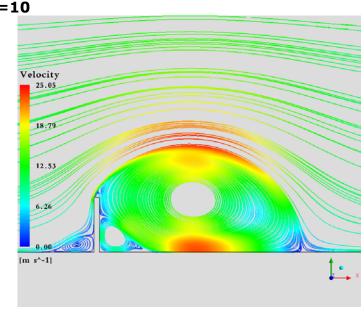


Поле коэффициентов давления

Поле турбулентных пульсаций

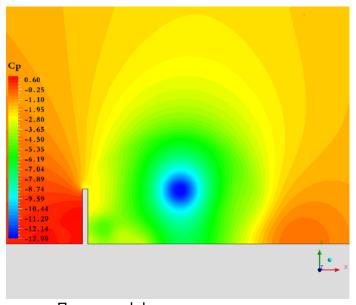
Рис. 5

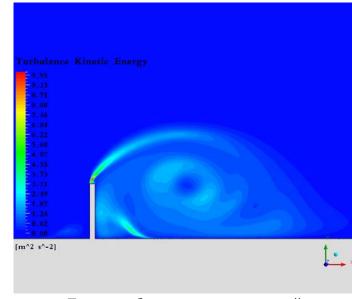




Поле скорости

Линии тока





Поле коэффициентов давления

Поле турбулентных пульсаций

Рис. 6

На Рис. 7 представлены графики распределения коэффициентов давления Ср по высоте здания с наветренной стороны (передний фасад здания, слева) и с подветренной сторонь (задняя стена здания, справа).

Цветные кривые с точками соответствуют различной относительной высоте здания темно-зеленые горизонтальные прямые – значения по СНиП 2.01.07-85, закладываемые в стандартный строительный расчет ветровых нагрузок.

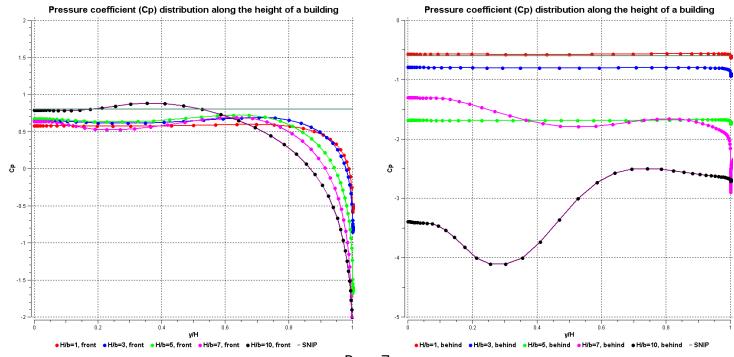


Рис. 7

Анализ результатов и выводы

Как показывают проведенные расчеты (в двумерной постановке), аэродинамика зданий прямоугольной формы носит ярко выраженный отрывной характер, вниз по потоку от здания образуется обширная протяженная область рециркуляционного течения, превышающая по размерам высоту здания в несколько раз, и характеризующаяся малыми скоростями, возвратными токами, сильным разряжением и высоким уровнем турбулентной кинетической энергии.

Причем с увеличением высоты здания структура этой застойной турбулентной зоны на подветренной стороне позади здания несколько меняет свою структуру и размеры, что сказывается на качественном и количественном поведении местных коэффициентов давления по высоте здания.

Как видно, при высотах $H/b \le 7$, $CHu\Pi 2.01.07-85$ достаточно хорошо описывает значение ветровой нагрузки для наветренной стороны здания (Cp=0.8) на 80% высоты здания.

Но при большей высоте здания $H/b \ge 10$, распределение коэффициентов Cp по высоте приобретает более неравномерный характер и может превышать расчетное значение $Cp_{CHu\Pi}=0.8$.

Что касается подветренной стороны (задний фасад здания), то здесь рекомендованное СНиП 2.01.07-85 значение коэффициента $Cp_{CHи\Pi}=-0.6$ (разрежение) согласуется с расчетным значением только для стандартных невысоких зданий (H/b=1). При H/b=3 отрицательная нагрузка возрастает уже до -0.8, т.е. на 30%, а при дальнейшем увеличении высоты здания до H/b=10 уровень отрицательной нагрузки может превышать номинальную в 3-5 раз.

Эти сравнения показывают, что применение СНиП 2.01.07-85 к высотным зданиям приводит к неверным, заниженным значениям ветровых нагрузок, что может существенно нарушить эксплуатацию высотных зданий и привести к их разрушению вследствие превышения допустимых норм прочности.