

О РАСЧЕТНОМ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ С НАВЕСНЫМИ ФАСАДНЫМИ СИСТЕМАМИ

Ветровые нагрузки являются определяющими при проектировании ядра жесткости, а также ряда несущих и ограждающих конструкций высотного здания и зданий с навесными фасадными системами. СНиП «Нагрузки и воздействия» [1] предусматривают расчет ветровой нагрузки как совокупности значений нормального давления на внешние и внутренние поверхности здания, а также сил трения, направленных по касательной к поверхностям здания, либо как нормальное давление в направлении двух осей, условно приложенное к проекции здания на плоскость, перпендикулярную соответствующей оси. Рассчитанная совокупность этих значений позволяет рассчитать необходимые при проектировании силы лобового сопротивления здания ветру при любом его направлении и моменты сил относительно трех осей. Данные о распределении коэффициента давления на поверхности здания позволяют проводить расчеты навесных фасадных систем, а также используются при проектировании систем вентиляции.

Рассматриваются высокие здания с ограничением по высоте $h < 7d$ (h — высота, d — характерная ширина здания). Согласно всем нормативным документам (СНиП 2.01.07-85*, МГСН 4.04-94, МГСН 4.19-2005, МГСН 4.19-2005, МДС 20-1.2006), требование $h < 7d$ обеспечивает возможность не рассматривать явления аэроупругой неустойчивости сооружений (резонансное вихревое возбуждение, галопирование и т. п.) под действием ветровых нагрузок. Это не является существенным ограничением, поскольку такому условию удовлетворяет большинство возводимых в настоящее время высотных сооружений выше 75 метров. Например, при ширине $d = 40$ м высота здания должна быть не более 280 метров.

Методы, используемые для расчетов нагрузок при проектировании зданий, можно разбить на три основных класса: приближенные инженерные методики расчета, экспериментальное моделирование и численное моделирование. Каждый из этих методов обладает как преимуществами, так и своими недостатками, поэтому на практике целесообразно использовать их сочетание.

Приближенные инженерные методики базируются на известных данных о характеристиках приземного пограничного слоя, а также различных эксперимен-

тальных и теоретических сведениях об общих свойствах обтекания тел воздушным потоком, выраженных в виде различного рода заданных коэффициентов и таблиц. Именно такие методики включены в нормативные документы. Для практического применения этих методик к высотным зданиям и к зданиям с навесными фасадными системами требуется дополнительное исследование по определению недостающих параметров, учитывающих специфику конкретного объекта.

Полное физическое моделирование означает, что используется аэродинамическая установка, оснащенная средствами формирования задаваемых профилей воздушного потока и параметров его турбулентности, а также средствами измерения средних и пульсационных составляющих давления по всей поверхности исследуемого объекта. При этом сам объект и окружающие его соседние сооружения воспроизводятся на моделях в масштабе, допускающем их размещение в рабочей части аэродинамической трубы, т. е. 1:100 — 1:500. При моделировании необходимо выполнение ряда условий: геометрическое подобие, подобие структуры потока в аэродинамической трубе заданным ветровым режимам, моделирование ситуационного плана в радиусе $r \geq 3h$. Однако полное аэродинамическое подобие все равно не обеспечивается, в частности, невозможно обеспечить натурные числа Рейнольдса (Re). В любом подобном эксперименте это число будет на два порядка меньше, чем в натуральных условиях. Поэтому принимают различные гипотезы об автомодельности по числу Рейнольдса (по крайней мере, начиная с $Re = 10^6$ и выше).

Численное моделирование реализует математическую модель нестационарного трехмерного турбулентного обтекания здания задаваемой конфигурации с учетом аэродинамической интерференции от соседних значимых объектов. При этом вычислительный процесс организуется на высокопроизводительной суперкомпьютерной технике. Численное моделирование основано на решении апробированных математических моделей, реализующих общие законы механики. Такой подход обладает рядом преимуществ при определении стационарных и нестационарных значений параметров ветровой нагрузки [2].

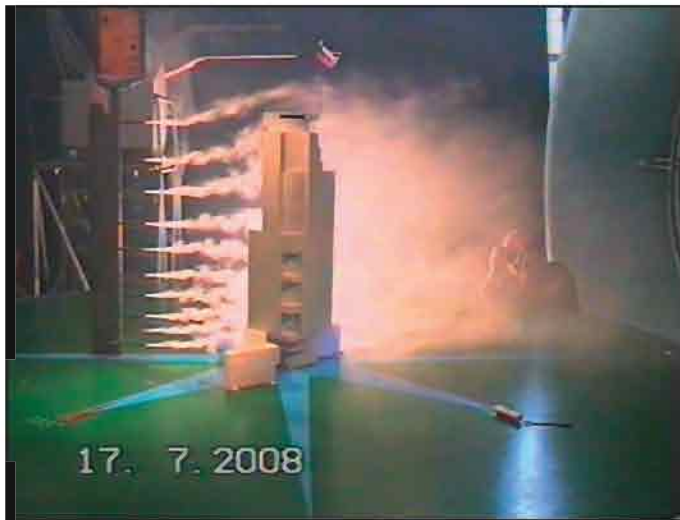


Рис.1. Визуализация воздушного потока при физическом моделировании обтекания здания в аэродинамической трубе

Как физическое, так и численное моделирование основаны на ряде предположений. Но результаты, получающиеся при этом, не нуждаются в каких-либо дополнительных коэффициентах из инженерных методик. Из нормативных документов требуется лишь информация о задаваемых характеристиках исходного ветрового потока. Проблема сопоставления этих методов разработана недостаточно. При определении ветровых нагрузок на высотные здания представляется оптимальным сочетать оба этих метода, поскольку они дополняют друг друга.

На рис. 1 представлена визуализация физического моделирования обтекания здания воздушным потоком в аэродинамической трубе, а на рис. 2 — визуализация результатов компьютерного моделирования. Здание имеет высоту 188 м и сложную конфигурацию фасадов: шесть различных сечений на разных уровнях по высоте здания (не считая стилобата). Численное моделирование выполнено в двумерном и трехмерном вариантах математической постановки задачи. Определено распределение ветровых нагрузок по фасаду здания при различном направлении ветрового потока. В физическом эксперименте измерялись интегральные аэродинамические силы и моменты распределения давления, а также

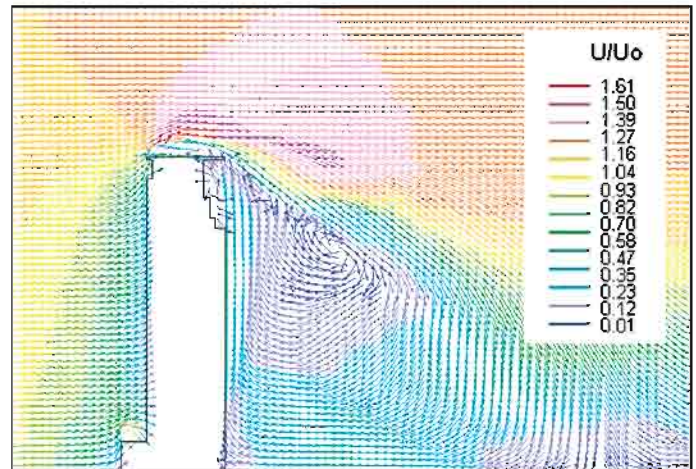


Рис.2. Мгновенное векторное поле скорости в срединном сечении объекта (по результатам трехмерного компьютерного моделирования). U/U_0 — относительная скорость, U_0 — скорость набегающего потока.

осуществлялась визуализация воздушных потоков. Сопоставление данных численного и физического моделирования позволяет назначить расчетные показатели ветровой нагрузки, а также выбрать пути дальнейшего совершенствования методик расчета. ●

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №08-08-13724).

**В. Г. ГАГАРИН, д. т. н., проф., зав. лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН;
С. В. ГУВЕРНЮК, к. ф-м. н., доц., зам. директора,
П. В. ЛЕДЕНЕВ, мл. в. с., аспирант,
НИИ механики МГУ**

Литература

1. Строительные нормы и правила «Нагрузки и воздействия», СНиП 2.01.07-85.—М., 2005.
2. Гагарин В. Г., Гувернюк С. В. «О методике определения местных аэродинамических воздействий на элементы фасада здания. Применение компьютерных технологий моделирования двумерного обтекания фасада сложной конфигураций». // «СтройПРОФиль» №2, 2007 г., стр. 50–52, №3, 2007 г., стр. 58–62.