

УДК 624.042.4 + 533.6

С.А. Дорошенко, А.В. Дорошенко, Г.В. Орехов

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА ТРЕХМЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Рассмотрено определение ветровых нагрузок, действующих на комплекс, состоящий из двух зданий, с помощью моделирования в аэродинамической трубе. Описана методика проведения аэродинамического эксперимента, приведен анализ полученных результатов для восемнадцати углов атаки ветра.

Ключевые слова: строительная аэродинамика, аэродинамическая труба, аэродинамический эксперимент, ветровая нагрузка, высотное строительство, датчик давления, коэффициент давления.

Особое внимание в строительной аэродинамике уделяется высотному строительству. Согласно СНиП 2.01.07—85* «Нагрузки и воздействия» определение аэродинамических коэффициентов для высотных зданий, а также для учета влияния рядом стоящих зданий и сооружений рекомендуется принимать на основе результатов продувок моделей сооружений в аэродинамических трубах. Рассмотрены результаты продувки модели комплекса зданий, представляющего собой одноподъездное двадцатитрехэтажное и многоподъездное девятиэтажное здания. Эксперимент проводился в аэродинамической трубе замкнутого типа с открытой рабочей частью на базе НИИ механики МГУ в лаборатории аэромеханики и волновой динамики.

Схема расположения моделей зданий представлена на рис. 1. В этом эксперименте используется две правых прямоугольных системы координат: одна (XOY) связана со скоростью (поточная система координат), другая (TON) привязана к модели (местная система координат). Результирующая сила воздействия потока на тело имеет составляющие, направленные по всем осям. Составляющие этой силы по оси X называются лобовым сопротивлением, по оси Y — боковой силой.

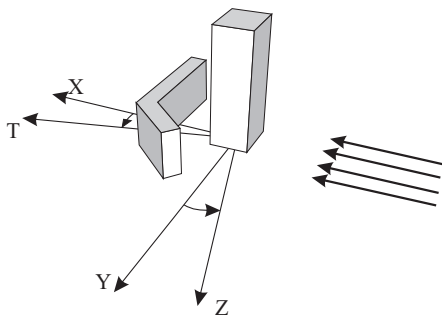


Рис. 1. Схема модели зданий

Лобовое сопротивление тела является суммой лобового сопротивления давления, зависящего от формы тела, и лобового сопротивления трения, взятых по всей поверхности тела.

Результирующая сила не проходит через начало координат, следовательно, возникают моменты относительно осей, стремящиеся повернуть тело [3].

Несомненно, что боковая сила, сила лобового сопротивления и моменты, развиваемые потоком, обтекающим сооружение, представляют значительный ин-

терес, поскольку являются воздействиями, на которые необходимо производить расчет.

Обычно принято относить все давления, измеренные на поверхности сооружения, к среднему динамическому давлению ветра (скоростному напору) на значительном удалении от него вверх по течению или свободного (невозмущенного) воздушного потока на некотором расстоянии от сооружения [1, 2]. В таком случае безразмерные коэффициенты лобового сопротивления и боковой силы определяются в виде

$$c_T = \frac{F_T}{\frac{1}{2}\rho V^2 S};$$

$$c_N = \frac{F_N}{\frac{1}{2}\rho V^2 S},$$

где $F_{T,N}$ — силы лобового и бокового сопротивления; ρ — плотность потока; V — скорость потока на удалении; S — площадь Миделя (характерная площадь).

Для вызываемых потоком моментов соответствующие коэффициенты записываются в виде

$$c_{M_T} = \frac{M_T}{\frac{1}{2}\rho V^2 S b};$$

$$c_{M_N} = \frac{M_N}{\frac{1}{2}\rho V^2 S b}.$$

где b — некоторый характерный исходный размер сооружения.

Такая безразмерная форма записи дает возможность переносить результаты модельных экспериментов на натуру.

В эксперименте при определении коэффициентов лобового и бокового сопротивления, а также моментов необходимо получить давления на поверхности зданий, для чего было необходимо производить дренаж модели. С точек съема давления передаются на измерительные приборы по средством пневмотрассы. Далее с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) и программных комплексов полученные значения обрабатываются и записываются на ПК.

В аэродинамических экспериментах, проводимых с трехмерными объектами, удобнее всего применять внутри модельный дренаж, т.е. выводить значения давлений с поверхности вовнутрь модели, с помощью перпендикулярно расположенных относительно поверхности модели прямых медных трубок диаметром 1 мм и длиной порядка 2 см [4]. Схема расположения точек приема давления в данном эксперименте приведена на рис. 2.

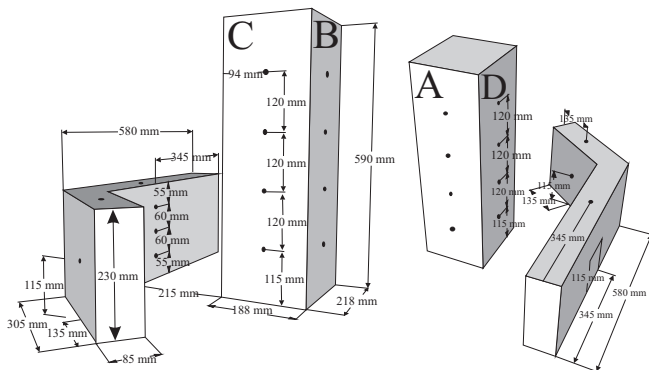


Рис. 2. Схема расположения датчиков давления на модели

Приемники давления с датчиками соединяются пневмотрассой передачи давления, выполненной из резиновых трубок (протяженность каждой порядка 10 см). В эксперименте использовались интегрированные датчики давления (Freescale Semiconductor MPXV7002DP; рабочий диапазон давления от $-2,0$ до $2,0$ кПа; напряжение питания 5В; точность 2,5 % от полной шкалы; время отклика 1 мс), калиброванные и компенсированные по температуре, в количестве 24 шт., установленные внутри модели. Тарировка датчиков выполнялась с помощью калибратора давлений фирмы «ЭКО-ИНТЕХ». Измерение производилось с помощью АЦП фирмы National Instruments (NIUSB-6225; число каналов — 80; разрядность — 16 бит; полная частота опроса — 250 тыс. отсч./с). Для проведения эксперимента и дальнейшей обработки данных была написана программа управления АЦП в программном комплексе LabView, в которой отражались среднее значение давлений в каждой точке, коэффициенты лобового сопротивления и боковой силы относительно систем координат, привязанных к потоку, и модели, моменты соответствующих коэффициентов.

Эксперимент проводился в аэродинамической трубе с открытой рабочей частью. Плотность потока воздуха считалась $\rho = 1,225$ кг/м³. Скорость набегающего потока составляла 25 м/с, контроль скорости осуществлялся с помощью трубки Пито-Прандтля, которая была подключена к жидкостному наклонному манометру. Во время всех измерений поле скоростей потока сохранялось постоянным.

Модель зданий обдувалась под восемнадцать разными углами (-22 ; -18 ; -12 ; -6 ; 0 ; 6 ; 12 ; 18 ; 22 ; 161 ; 165 ; 171 ; 177 ; 183 ; 189 ; 195 ; 201 ; 205). В каждом положении выполнялось 2500 отсчетов с частотой регистрации 1000 отсч./с и программно вычислялась средняя величина давлений, которая записывалась в файл. В каждом сечении было выполнено несколько измерений.

В ходе обработки экспериментальных данных сравнивались показания датчиков при нулевых скоростях до и после эксперимента. Был проведен анализ всех измерений на возможные ошибки, сравнивались показания давлений при обдувании модели под одинаковыми углами. В контрольных углах показания датчиков анализировались с известными случаями обтекания более простых фигур. Для определения средних значений давлений было произведено объединение данных по всем измерениям для выбранного угла наклона модели.

Получение и обработка данных осуществлялись с помощью программы LabView. Построение графиков и таблиц выполнено в пакете Microsoft Excel. Для визуализации трехмерных моделей использовался GoogleSketchUp. Далее графически отображены полученные результаты на рис. 3—6.

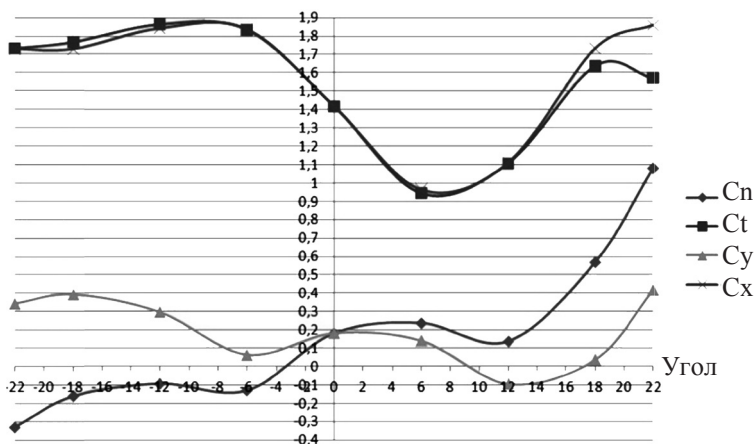


Рис. 3. Коэффициенты давлений при повороте модели на угол $-20 \dots 20^\circ$

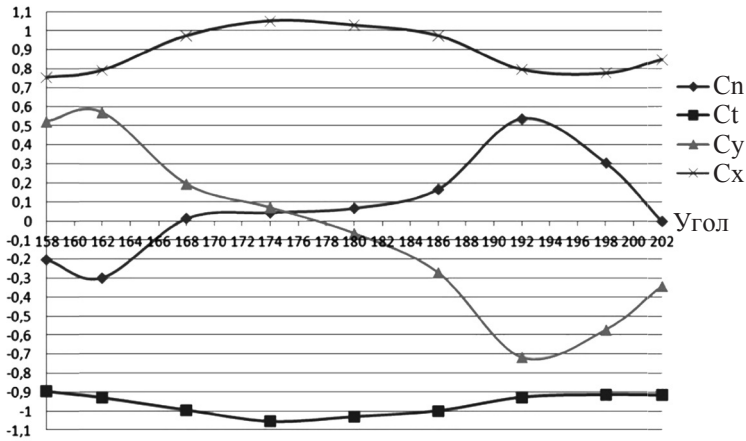


Рис. 4. Коэффициенты давлений при повороте модели на угол $-161...205^\circ$

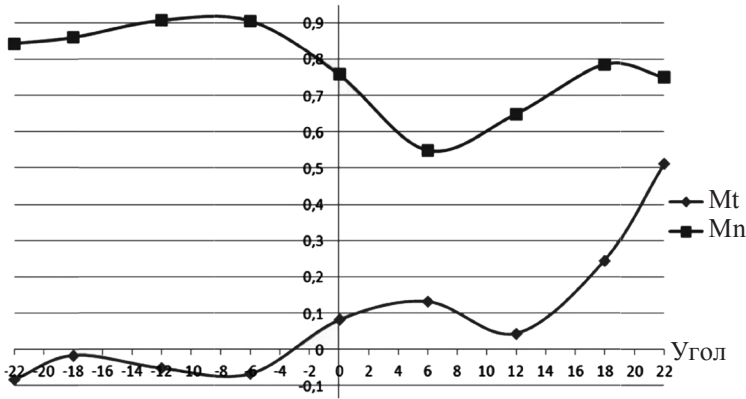


Рис. 5. Коэффициенты моментов давлений при повороте модели на угол $-20...20^\circ$

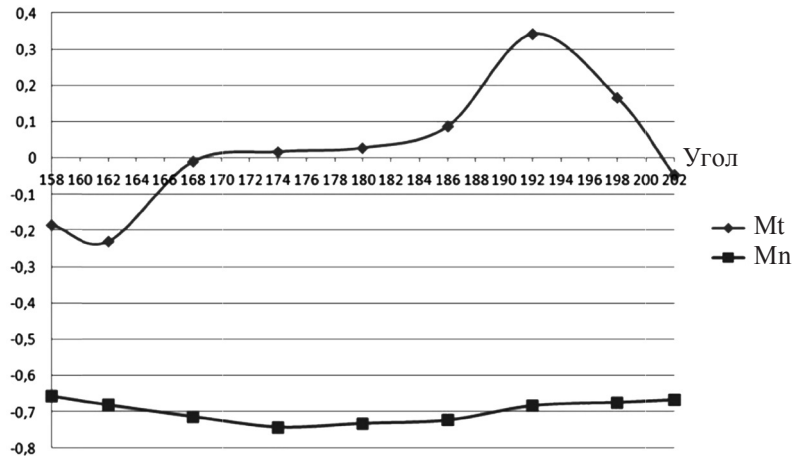


Рис. 6. Коэффициенты моментов давлений при повороте модели на угол $-161...205^\circ$

В настоящей статье рассмотрена трехмерная задача, целью которой было определить ветровые нагрузки с помощью физического моделирования в аэродинамиче-

ской трубе. Были получены значения безразмерных коэффициентов давления и их моменты при различных углах поворота относительно комплекса моделей и относительно потока. Для наглядности результаты представлены в виде графиков.

Комплекс трехмерных конструкций, представляющий высотное и рядом стоящее средневысотное здания, имеет более сложные графики безразмерных коэффициентов давления, чем в двумерной задаче, т.е. при обтекании образуется сложно структурированный трехмерный поток, который невозможно адекватно описать, решая плоскую задачу. Это объясняется тем, что помещенные в поток модели высотного и среднеэтажного зданий оказывают взаимовлияние. Впереди стоящее здание способствует появлению вихря в пространстве между зданиями. Обтекание ветром зданий является важнейшим примером пространственных течений.

Замечание. Исследование проводилось в рамках государственного контракта № 16.552.11.7025 от 29 апреля 2011 г. «Проведение центром коллективного пользования научным оборудованием «ГР ЦКП МГСУ» поисковых научно-исследовательских работ в области энергосбережения и энергоэффективности зданий и сооружений» по программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 гг.».

Библиографический список

1. Симиу Э., Скэнлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М. : Стройиздат, 1984. 360 с.
2. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М., 1972. 110 с.
3. Березин М.А., Катюшин В.В. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций. Новосибирск : Олден-полиграфия, 2001. 220 с.
4. Дорошенко С.А. Экспериментальное определение ветрового воздействия на плоские элементы строительных конструкций // *Фундаментальные науки в современном строительстве* : сб. тр. Седьмой Всеросс. науч.-практ. конф. М. : МГСУ, 2010. С. 175—179.

Поступила в редакцию в мае 2012 г.

Об авторах: **Дорошенко Сергей Александрович** — аспирант кафедры теоретической механики и аэродинамики, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, sad.pochta@gmail.com;

Дорошенко Анна Валерьевна — аспирант кафедры информатики и прикладной математики, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, pochta.avd@gmail.com;

Орехов Генрих Васильевич — кандидат технических наук, доцент, руководитель учебно-научно-производственной лаборатории по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, unpl@mgsu.ru.

Для цитирования: *Дорошенко С.А., Дорошенко А.В., Орехов Г.В.* Определение ветровой нагрузки на трехмерные конструкции с помощью моделирования в аэродинамической трубе // *Вестник МГСУ*. 2012. № 7. С. 69—74.

S.A. Doroshenko, A.V. Doroshenko, G.V. Orekhov

IDENTIFICATION OF WIND LOAD APPLIED TO THREE-DIMENSIONAL STRUCTURES BY VIRTUE OF ITS SIMULATION IN THE WIND TUNNEL

The authors discuss wind loads applied to a set of two buildings. The wind load is simulated with the help of the wind tunnel.

In the Russian Federation, special attention is driven to the aerodynamics of high-rise buildings and structures. According to the Russian norms, identification of aerodynamic coefficients for high-rise buildings, as well as the influence of adjacent buildings and structures, is performed on

the basis of models of structures exposed to wind impacts simulated in the wind tunnel. This article deals with the results of the wind tunnel test of buildings. The simulation was carried out with the involvement of a model of two twenty-three storied buildings. The experiment was held in a wind tunnel of the closed type at in the Institute of Mechanics of Moscow State University.

Data were compared at the zero speed before and after the experiment. LabView software was used to process the output data. Graphs and tables were developed in the Microsoft Excel package. GoogleSketchUp software was used as a visualization tool.

The three-dimensional flow formed in the wind tunnel can't be adequately described by solving the two-dimensional problem. The aerodynamic experiment technique is used to analyze the results for eighteen angles of the wind attack.

Key words: building aerodynamics, wind tunnel, aerodynamic experiment, wind load, high-rise building, pressure sensor, pressure coefficient.

References

1. Simiu E., Scanlan R. *Vozdeystvie vetra na zdaniya i sooruzheniya* [Wind Effects on Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984, 360 p.
2. Savitskii G.A. *Vetrovaya nagruzka na sooruzheniya* [Wind Loads Applied to Structures]. Moscow, 1972, 110 p.
3. Berezin M.A., Katyushin V.V. *Atlas aerodinamicheskikh kharakteristik stroitel'nykh konstruksiy* [Atlas of Aerodynamic Characteristics of Building Structures]. Novosibirsk, Olden-Poligrafiya Publ., 200 p.
4. Doroshenko S.A. *Ekspperimental'noe opredelenie vetrovogo vozdeystviya na ploskie elementy stroitel'nykh konstruksiy* [Experimental Identification of Wind Effects on Plane Building Elements]. *Fundamental'nye nauki v sovremennom stroitel'stve*, 7th scientific and practical conference. [Proceedings of the Seventh All-Russian Scientific and Practical Conference "Fundamental Sciences in Contemporary Civil Engineering"]. Moscow, MSUCE, 2010, pp. 175—179.

About the authors: **Doroshenko Sergey Aleksandrovich** — postgraduate student, Department of Theoretical Mechanics and Aerodynamics, **Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; sad.pochta@gmail.com;

Doroshenko Anna Valer'evna — postgraduate student, Department of Informatics and Applied Mathematics, **Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; pochta.avd@gmail.com;

Orekhov Genrikh Vasil'evich — Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Head of Laboratory of Aerodynamic and Acoustic Testing of Building Structures, **Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, unpl@mgsu.ru.

For citation: Doroshenko S.A., Doroshenko A.V., Orekhov G.V. *Opreделение vetrovoy nagruzki na trekhmernye konstruksii s pomoshch'yu modelirovaniya v aerodinamicheskoy trube* [Identification of Wind Load Applied to Three-Dimensional Structures by Virtue of Its Simulation in the Wind Tunnel]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 7, pp. 69—74.