



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

N1, ТОМ 15 (2009) 85-91

УДК 697.32

(09)-0186-1

ВИПРОБУВАННЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ В АЕРОДИНАМІЧНІЙ ТРУБІ З АТМОСФЕРНИМ ПРИЗЕМНИМ ПОГРАНИЧНИМ ШАРОМ

С.Г. Кузнецов

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

вул. Державина 2, 86123, м. Макіївка, Україна.

E-mail: sergij_kuznetsov@rambler.ru

Отримана 8 листопада 2008; прийнята 23 січня 2009

Анотація. Будівля або споруда, яка розташована в безпосередній близькості до іншої будівлі або споруди, і окремо розташована будівля знаходяться в різних умовах. У державних будівельних нормах містяться вітрові навантаження лише для окремо розташованих будівель. Можливо, це правильно, оскільки вважається, що в цій ситуації вітрові навантаження максимальні. У цій роботі вивчено правильне чи ні це твердження, тобто порівняно вітрові навантаження висотної будівлі, що стоїть окремо, з навантаженнями спільно розташованих двох висотних будівель. Експерименти були проведені в аеродинамічній трубі з пограничним шаром робочої групи "Аеродинаміка в будівництві" Рурського університету м. Бохум (Німеччина). Атмосферний пограничний шар моделювався поганообтічними елементами, і потік описувався за степеневим законом. Для експериментів були виготовлені дві однакові моделі висотних будівель. Результати експериментів приведені у формі середніх і середньоквадратичних відхилень аеродинамічних коефіцієнтів

Ключові слова: висотний будинок, аеродинамічна труба, вітрове навантаження, атмосферний пограничний шар.

ИСПЫТАНИЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ С АТМОСФЕРНЫМ ПРИЗЕМНЫМ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ

С.Г. Кузнецов

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,

ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.

E-mail: sergij_kuznetsov@rambler.ru

Получена 8 ноября 2008; принята 23 января 2009

Аннотация. Здание или сооружение, расположенное в непосредственной близости от другого здания или сооружения, находятся в различных условиях, нежели отдельно стоящее здание. В государственных строительных нормах содержатся ветровые нагрузки только для отдельно стоящих зданий, возможно, это правильно, так как считается, что в этой ситуации ветровые нагрузки максимальны. В этой работе изучено, верно ли это утверждение, т.е. сравнить ветровые нагрузки отдельно стоящего высотного здания с нагрузками совместно расположенных двух высотных зданий. Эксперименты были проведены в аэродинамической трубе с пограничным слоем рабочей группы "Аэродинамика в строительстве" Рурского университета г. Бохум (Германия). Атмосферный пограничный слой моделировался плохообтекаемыми элементами, и поток описывался по степенному закону. Для экспериментов были изготовлены две одинаковые модели высотных зданий. Результаты экспериментов приведены в форме средних и среднеквадратических отклонений аэродинамических коэффициентов.

Ключевые слова: высотное здание, аэродинамическая труба, ветровая нагрузка, атмосферный пограничный слой.

HIGH-RISE BUILDING TESTING IN THE WIND TUNNEL WITH A ATMOSPHERIC SURFACE BOUNDARY

S.G. Kuznetsov

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture
2, Derzhavin str., 86123 Makeyevka, Ukraine.*

E-mail: sergij_kuznetsov@rambler.ru

Received 8 November 2008; accepted 23 Januari 2009

Abstract. A building or structure located in immediate proximity to another building or structure is in a bit different conditions than a detached building. The State Building Codes contain wind loads for detached buildings only. It might be right as wind loads are considered to be bearable in this case. We have investigated if this statement is correct, i.e we have compared wind loads on a detached high-rise building and wind loads on two side-by-side standing high-rise buildings. The experiments were carried out in the boundary layer wind tunnel of the work group "Aerodynamik im Bauwesen" of Ruhr-University in the town of Bochum (Germany). The atmospheric boundary layer was simulated by high-drag elements and the flow was described by the exponential law. To perform the experiments there were made two similar models of high-rise buildings. The results of the experiments are given in the form of mean and root-mean-square deviations of shape factors.

Keywords: high-rise building, wind tunnel, wind load, atmospheric boundary layer.

1. Общие положения

Прогнозирование средних и среднеквадратических аэродинамических коэффициентов, моментов, действующих на высотное здание, которое частично или полностью загораживается расположенной впереди зданием или конструкцией, практически невозможно без модельных масштабных испытаний. Здание или сооружение, расположенное в непосредственной близости от другого здания или сооружения, находится в иных условиях, нежели отдельно стоящее здание. В государственных строительных нормах содержатся ветровые нагрузки только для отдельно стоящих зданий. Когда здание загораживается другим, имеющим такой же размер, считается, что будет результатом сокращение аэродинамических сил на загораживаемую конструкцию. В данной работе изучено, верно ли это утверждение, т.е. сравнены ветровые нагрузки отдельно стоящего высотного здания с нагрузками совместно расположенных двух высотных зданий.

Эффект когерентных источников (в данном случае двух одинаковых зданий) до настояще-

го времени не был усмотрен многими учеными как результат особого физического процесса, формирующего отличные характеристики ветрового потока, схожие с интерференцией звука или света. Харрис в 1934 г. заметил, что происходят значительные изменения в распределении давлений на модели здания в присутствии примыкающей конструкции. Вальш приводит несколько случаев взаимодействия, например, расположенных на одной линии группы из пяти башен дымовых труб. Скрутон исследовал бафтинг модели моста в присутствии другого моста. Саваер рассматривал охлаждающую башню в Феррибридж (Англия) и причины ее разрушения в 1965 г. как сочетание обстоятельств, связанных с порывами ветра и турбулентного следа от примыкающих башен. В каждом из приведенных случаев значительные воздействия наблюдались на расположенную ниже по потоку конструкцию, в основном благодаря организованной природе следа от загораживающей конструкции.

Для случая, когда конструкция расположена вблизи других конструкций, будут проведены

адекватные масштабные моделирования в аэродинамической трубе участка и потока, которые позволят выполнить измерения сил и моментов с учетом турбулентности и волновых интерференций.

Поставленная задача может быть решена при использовании тензометрического датчика, который реагирует на движение, в результате чего можно определить колебания сил и моментов. Насколько движение модели может быть без влияния на поток вокруг нее, не ясно. Более точный способ определения сил и их распределения над поверхностью модели может быть получен с использованием чувствительных датчиков давления, установленных на внешней поверхности модели, без трубки, соединяющей исследуемую поверхность и прибор. Эта техника несколько ограничена тем, что оборудование дорогостоящее и существует необходимость корреляции всех чтений (включая одновременную запись всех каналов) для того, чтобы выполнить некоторую интеграцию для получения результирующих сил и моментов.

Для того, чтобы получить сравнительные значения соответствующих экспериментов и сравнить с результатами предыдущих экспериментов, приводимых в литературе, в аэродинамической трубе с атмосферным пограничным слоем была испытана модель отдельностоящего высотного здания.

2. Экспериментальные условия

Условия моделирования воздушного потока и критерии подобия, которые применялись для экспериментов, уже описаны в работах [1, 2]. Приземный пограничный слой атмосферы моделировался по степенному закону с показателем степени $\alpha = 0,17$. Интенсивность турбулентности было в среднем 0,2. Число Рейнольдса составило 2×10^5 , скорость свободного воздушного потока была около 15 м/с.

Для экспериментов было изготовлено две модели высотных зданий. Первая модель — модель препятствие, вторая модель — модель, на которой непосредственно измерялись давления. Для измерения давления в модели были проделаны отверстия на высоте $2/3H$ от основания модели, также как и в строительных нормах. Геометрические размеры моделей зданий были одинаковыми и не изменялись во время экспериментов. Абсолютные размеры моделей составляли: ширина $B = 10$ см; высота $H = 40$ см (см. рис. 1).

3. Результаты

Результаты экспериментов приведены в форме средних ($C_{p_{mean}}$) и среднеквадратических отклонений ($C_{p_{rms}}$) аэродинамических коэффициентов. Эксперименты были проведены для двух случаев: отдельно стоящего высотного здания и комбинации двух высотных зданий.

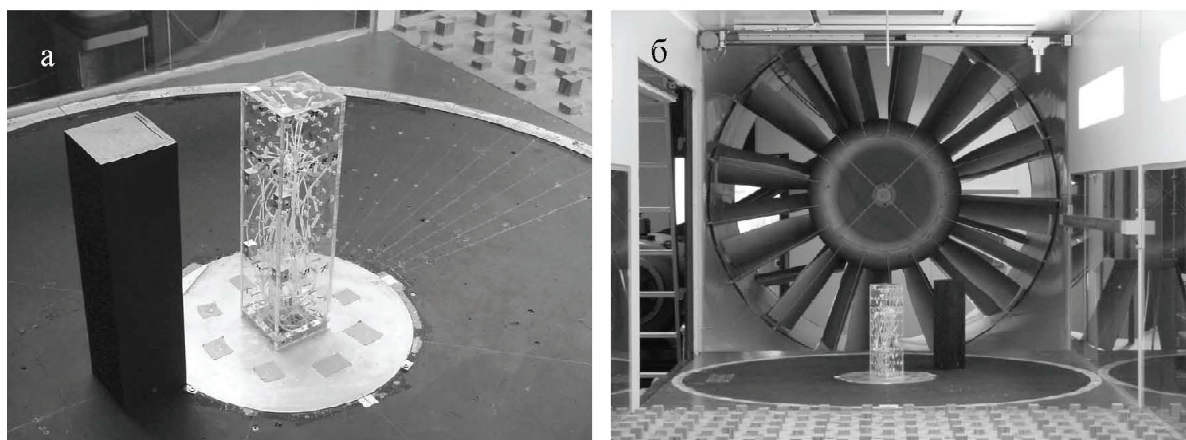


Рис. 1. Расположение экспериментальных моделей в аэродинамической трубе: а — компоновка масштабной модели; б — вид аэродинамической трубы изнутри.

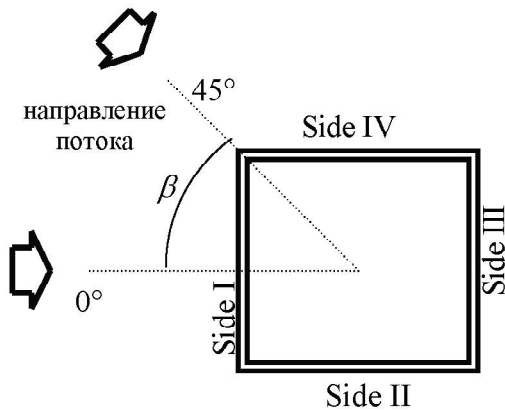


Рис. 2. Направления воздушного потока в случае отдельностоящего высотного здания.

3.1. Отдельно стоящее высотное здание

В этом случае варьировалось только направление воздушного потока. Угол β принимался в пределах $0^\circ - 45^\circ$ (см. рис. 2). По результатам экспериментов $C_{p_{mean}}$ были следующими: на стороне 1 (Side I): $0,85 - 0,40$; на стороне 2 (Side II) от $-0,85$ до $-0,54$; на стороне 3 (Side III) значения оставались постоянными и равнялись $-0,50$; на стороне 4 (Side IV) коэффициенты были $-0,90 - 0,40$. Наибольшие значения коэффициентов $C_{p_{mean}}$ были при направлении воздушного потока $7,5^\circ$.

Значения $C_{p_{mean}}$ коэффициентов были следующими: на стороне 1 (Side I) $0,19 - 0,14$; на стороне 2 (Side II) $0,18 - 0,10$; на стороне 3 (Side III) $0,12 - 0,09$; на стороне 4 (Side IV) $0,28 - 0,09$. Наибольшее значение $C_{p_{mean}}$ коэффициентов было при направлении воздушного потока 15° , а минимальное значение при 30° .

Эти эксперименты были проведены для сравнения результатов с конфигурацией двух высотных зданий.

3.2. Совместное расположение двух высотных зданий

В этой конфигурации было использована полярная система координат, в центре которой располагалась модель, на которой измерялось давление, а модель — преграда размещалась вокруг (см. рис. 3). При этом стороны моделей были всегда параллельны и перпендикулярны друг другу. Испытания проводились при двух направлениях воздушного потока 0° и 45° . При

этом радиус R от центра измерительной модели до центра модели помехи изменялся: $2,5B$; $4,0B$; $5,0B$; $7,0B$. Также изменялся угол γ между линией направления воздушного потока и радиусом R и принимал значения 0° , 45° , 90° , 135° , 180° . Результаты давлений приведены для средней части сечения модели.

Направление воздушного потока 0°

На всех поверхностях модели высотного здания значения средних ($C_{p_{mean}}$) и среднеквадратических отклонений ($C_{p_{rms}}$) коэффициентов ветрового давления уменьшались по сравнению с отдельностоящим. При $\gamma = 0^\circ$ значения $C_{p_{mean}}$ коэффициентов уменьшились на 73% и среднеквадратические отклонения $C_{p_{rms}}$ на 30%. Такой же эффект наблюдался при $\gamma = 180^\circ$, где значения параметров уменьшались, соответственно, на 12% и 6%.

Средние коэффициенты ветрового давления при $\gamma = 90^\circ$ увеличиваются на 7% на всех поверхностях. На стороне 2 обращенной к модели помехе коэффициенты достигали значения -1 . Значения среднеквадратических отклонений коэффициента ветрового давления на стороне 2 увеличиваются на 26% при угле $\gamma = 90^\circ$, а при угле 135° значения вырастают до $0,24$ (см. рис. 4).

Направление ветрового потока 45°

При $\gamma = 0^\circ$ на всех сторонах модели значения средних коэффициентов давления уменьшаются на 60% и среднеквадратические коэффициенты увеличиваются на 30%. При $\gamma = 90^\circ$ на стороне 1 и 2 $C_{p_{mean}}$ коэффициенты увеличиваются на 31% и $C_{p_{rms}}$ коэффициенты на 18%. При $\gamma = 135^\circ$ $C_{p_{mean}}$ коэффициенты увеличиваются на 17% и $C_{p_{rms}}$ коэффициенты на 7%. В этом случае величины среднеквадратических отклонений коэффициентов ветрового давления почти такие же, как при отдельно стоящей модели высотного здания (см. рис. 5).

4. Заключение

Автор статьи выражает благодарность профессору Гансу-Йоргану Ниеманну (H.-J. Niemann, Ruhr-Universität Bochum) за помощь, поддержку и консультации, а также Немецкой академии внешних обменов (DAAD) за финансирование данного проекта.

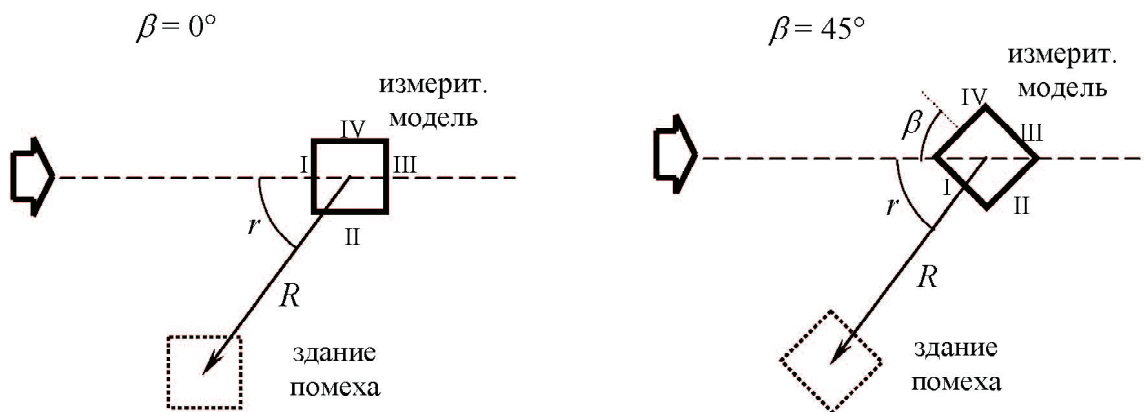


Рис. 3. Направление воздушного потока при расположении двух высотных зданий.

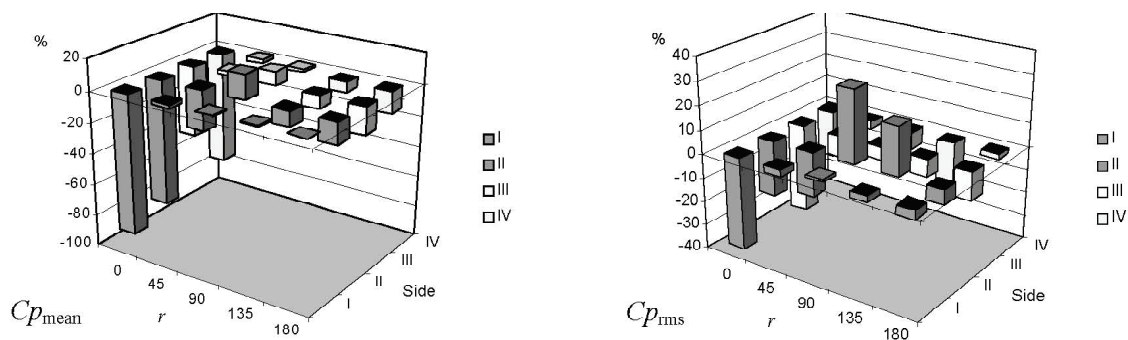


Рис. 4. Проценты отклонения коэффициентов ветрового давления при направлении потока 0° .

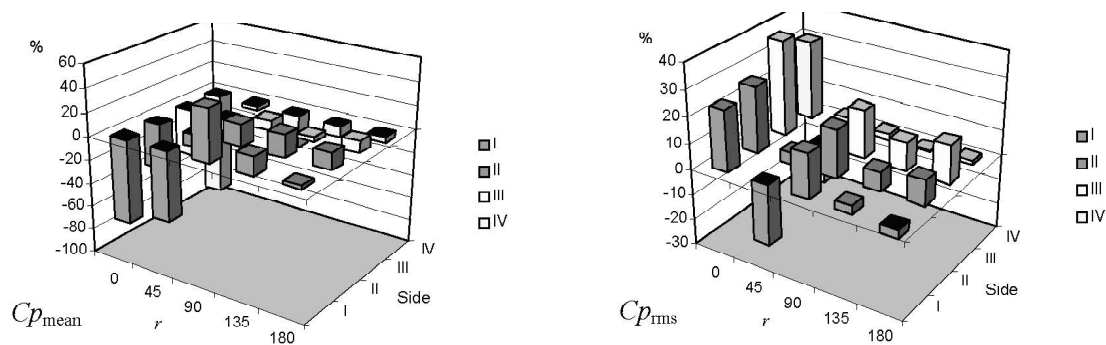


Рис. 5. Проценты отклонения коэффициентов ветрового давления при направлении потока 45° .

Проведенное исследование подчеркнуло необходимость последовательного и систематического подхода к проблеме определения ветровых нагрузок на здания, располагаемые в застройке.

На основе анализа и сравнения результатов сформулированы следующие выводы: Критические расположения для рассмотренной выше конфигурации застройки: по направлению вдоль воздушного потока — от 4В до 8В (по оси x); перпендикулярно к направлению потока — от 0В до 4В (по оси y), при этом динамические составляющие увеличиваются до 60% на здание, расположенное позади ветрового потока. Средние нагрузки на нижестоящее здание снижаются в связи с эффектом загоразивания. Динамический вращательный момент для здания, расположенного за помехой, увеличивается до 100%. Особенно это отмечается, когда впереди стоящее здание блокирует сторону позади стоящего. Критическая область для вращательного момента расположена вокруг — от 3В до 9В (по оси x) и от 0В до 2В (по оси y).

Эффект впереди стоящего здания на позади стоящее более значителен, чем в обратном случае. Средние аэродинамические коэффициенты, направленные параллельно ветровому потоку, сокращаются, но динамические нагрузки возрастают более чем на 70%. При увеличении размера основания впереди стоящего здания средние нагрузки снижаются, а динамические нагрузки увеличиваются до 200%.

Критическое направление ветра зависит от геометрической формы и расположения зданий, но в целом направление ветра, перпендикулярное стороне здания может произвести значительный эффект взаимодействия. Эффект значителен для открытой (незастроенной) территории, постепенно снижается для пригородной и городской зон. Так, здания, расположенные вдоль фронта воды или открытой территории, такой как парк, более подвержены эффекту взаимодействия высотных зданий.

Воздействие позади стоящего здания не так значительно, как впереди стоящего здания, но при близком взаимном расположении от $-В$ до $-2,5В$ (по оси x) и от $В$ до $2В$ (по оси y), динамические вращательные моменты на аналогичное впереди стоящее здание могут возрастать до 200% по сравнению с их величиной для отдельно стоящего здания.

Ветровые нагрузки здания, в общем, менее сильные, если оно окружено большой группой зданий значительного размера.

Наибольшие значения средних и средне-квадратических отклонений аэродинамических коэффициентов достигаются при отклонении ветрового потока от перпендикуляра к поверхности высотного здания: $10^\circ - 20^\circ$. Коэффициенты ветрового давления увеличиваются на стороне, обращенной к соседнему зданию, если направление ветрового потока параллельно этой стороне. При этом значения средних коэффициентов увеличивается на 25%, а средне-квадратические отклонения увеличиваются на 30%.

Литература

1. Давыдовская Т.В., Кузнецов С.Г., Тимофеев Н.В. Ветровая нагрузка на высотное здание в условиях застройки // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. — Макіївка: ДонДАБА, 2001. — № 3(28). — С. 69-72.
2. Кузнецов С.Г. Взаимодействие двух высотных зданий в ветровом потоке // Современные проблемы строительства. - Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект.—№ 5(10), 2007. — С. 54-59.
3. Горохов Е.В., Кузнецов С.Г., Васылев В.Н. Ветровая среда вокруг высотного здания // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. Вып. 43. — Днепропетровск: ПГАСА, 2007. — С. 139-147.
4. Горохов Е.В., Кузнецов С.Г., Васылев В.Н. Воздействие ветра на высотные здания и их комплексы // Сборник научных трудов. - Москва: Московский государственный строительный университет, 2008.—С. 86-90.
5. Горохов Е.В., Кузнецов С.Г., Васылев В.Н. Эффект подветренных волн при определении ветровых нагрузок // Современные строительные конструкции из металла и древесины. Сборник научных трудов. Ч. 1. — Одесса: ОГАСА, 2008. — С. 36-41.
6. Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Касимов В.Р., Назим Я.В., Кузнецов С.Г., Васылев В.Н. Мониторинг сложных технических систем // Металеві конструкції. - Макіївка: ДонНАБА, 2008. — Т. 14 №4. — С. 299-313.
7. Neimann H.-J. The boundary layer wind tunnel: an experimental tool in building aerodynamics and environment engineering // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. — 1993.— Vol. 48. - P. 341-350.
8. Niemann H.-J., Kopper H.-D. Influence of adjacent buildings on wind effects on cooling towers // Engineering Structures. — 1998. — Vol. 20, No. 10.— P. 874-880.

9. Massimiliano G., Vittorio G., Mircea G. Non-gaussian wind pressure on prismatic buildings. I: Stochastic field // *Journal of Structural Engineering*. — 2001. — Vol. 127, No. 9. — P. 981-989.
10. Massimiliano G., Vittorio G., Mircea G. Non-gaussian wind pressure on prismatic buildings. II: Numerical simulation // *Journal of Structural Engineering*. — 2001. — Vol. 127, No. 9. — P. 990-995.
11. Maurizio O. Wind-induced interference effects on two adjacent cooling towers // *Engineering Structures*. — 2001. — Vol. 23. — P. 979-992.
12. Zdravkovich M.M. Aerodynamics of two parallel circular cylinders of finite height at simulated high Reynolds numbers // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. — 1980. — Vol. 6. P. 59-71.
13. Kareem A., Cermak J.E. Pressure fluctuations on a square building model in boundary-layer flows // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. — 1984. — Vol. 16. P. 17 - 41.
14. Blessmann J. Buffeting effects on neighbouring tall buildings // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. — 1985. — Vol. 18. — P. 105-110.
15. Surry D., Djakovich D. Fluctuating pressures on models of tall buildings // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. — 1995. — Vol. 58. — P. 81 - 112.
16. Xu Y.L. Model- and full-scale comparison of fatigue-related characteristics of wind pressures on the Texas Tech Building // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. — 1995. — Vol. 58. — P. 147-173.

Кузнецов Сергій Георгійович — к.т.н., доцент, доцент кафедри архітектури промислових і цивільних будівель Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: будівельна аеродинаміка, модельні випробування будівель і споруд в аеродинамічній трубі з пограничним шаром, вітрові навантаження на будівлі та споруди, натурні вишукування вітрових навантажень.

Кузнецов Сергей Георгиевич — к.т.н., доцент, доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: строительная аэродинамика, модельные испытания зданий и сооружений аэродинамической трубе с пограничным слоем, ветровые нагрузки на здания и сооружения, натурные исследования ветровых нагрузок.

Kuznetsov Sergey Georgievich — PhD (Eng.), an associate professor of the department of architecture of industrial and civil buildings of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: building aerodynamic, modeling tests of buildings and structures in a boundary layer wind tunnel, wind loads on buildings and structures, full-scale investigations of wind loads.