



## ВІТРОВІ НАВАНТАЖЕННЯ НА НИЗЬКИХ БУДІВЛЯХ У ЗАБУДОВІ З ВИСОТНОЮ БУДІВЛЕЮ

**Є. В. Горохов, С. Г. Кузнецов**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, 86123, Україна.*

*E-mail: sergij\_kuznetsov@rambler.ru*

*Отримана 9 березня 2006; прийнята 14 березня 2006*

**Анотація.** У статті представлено одне із питань містобудування, в якому розглядається ущільнення п'ятиповерхової забудови висотним будинком. За результатами в аеродинамічній трубі визначено вітрові навантаження на низьких будівлях під впливом висотної будівлі.

**Ключові слова:** вітрові навантаження, аеродинамічна труба, інтерференційний ефект, висотні будівлі.

## ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ НА НИЗКИХ ЗДАНИЯХ В ЗАСТРОЙКЕ С ВЫСОТНЫМ ЗДАНИЕМ

**Е. В. Горохов, С. Г. Кузнецов**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, 86123, Украина.*

*E-mail: sergij\_kuznetsov@rambler.ru*

*Получена 9 березня 2006; принята 14 березня 2006*

**Аннотация.** В статье представлен один из вопросов градостроительства, в котором рассматривается уплотнение пятиэтажной застройки высотным зданием. По результатам в аэродинамической трубе определены ветровые нагрузки на низких зданиях под влиянием высотного здания.

**Ключевые слова:** ветровые нагрузки, аэродинамическая труба, интерференционный эффект, высотное здание.

## WIND LOADS ON LOW BUILDINGS IN A BUILT UP AREA WITH A TALL BUILDING

**Ye. V. Horokhov, S. G. Kuznetsov**

*Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*Derzhavin Str., 2, Makiivka, 86123, Ukraine.*

*E-mail: sergij\_kuznetsov@rambler.ru*

*Received March 9, 2006; accepted March 14, 2006*

**Abstract.** The paper presents one of the problems of town planning which is considered the densification of the five-story buildiry area with a high building. The results of the wind tunnel experiments an determined wind loads on low buildings due to the effect of a high building.

**Key words:** wind loads, wind tunnel, interference effect, high building.

### 1. Введение

В настоящее время в городах Украины рассматриваются различные программы по реконструкции пятиэтажных застроек. В некоторых крупных городах такие застройки уплотняют, встраиванием в них высотных зданий. В связи с этим возникает вопрос о том, как изменяются ветровые нагрузки на низких зданиях.

В научных публикациях поднимается тема о ветровых нагрузках, которые действуют на здания в окружении зданий городской территории. Ряд работ Plate E. J. и Davenport A. G. [3, 4] подтверждает необходимость и актуальность исследований ветровых нагрузок в городских районах. Также имеется ряд работ [2, 6, 7], которые говорят о важности исследований интерференционных эффектов в ветровых нагрузках особенно вызванного действием высотного здания. Исследования [1, 5] распределения вредностей в городской среде и проветривания уличных каньонов, также показали, что аэродинамика изучаемых явлений напрямую зависит от геометрических и микроклиматических параметров территории застройки. Все эти направления объединяет один объект — это поведение и влияние ветрового потока в городской среде. Данная проблема является открытой на сегодняшний день из-за большого числа факторов и условий, которые создает городская застройка.

Целью данного исследования является оценить ветровые нагрузки на низких зданиях рассматриваемых вблизи высотных зданий.

Исследуемая задача интересна также тем, что рассматривает один из спектров строительной аэродинамики — это ветровые нагрузки на здание обусловленные интерференционными эффектами взаимодействия тел.

Авторы статьи выражают благодарность за оказание помощи сотрудникам Национального авиационного университета Павловскому Р. Н., Виноградскому П. М., Жданову О. И., Орлянскому В. В.

### 2. Аэродинамическая труба

Исследования проводились в аэродинамической лаборатории Национального авиационного университета. Аэродинамическая труба прямоточного типа с восьмиугольной в сечении рабочей частью закрытого типа с размерами 4 м×2,5 м (ширина×высота) и длиной 5,5 м. Максимальная скорость воздушного потока в рабочей части — до 42 м/с, общая мощность привода аэродинамической трубы — 660 кВт. Воздух в аэродинамической трубе приводится в движение 12 вентиляторами.

Распределение скорости воздушного потока по высоте описывалось степенной функцией с показателем степени 0,32. Максимальное

значение интенсивности турбулентности достигло 40%. Моделируемый пограничный слой в аэродинамической трубе был толщиной  $\delta = 1,4$  м. Число Рейнольдса —  $Re_p \approx 10^5$ .

Исследования проводились на основе трех похожих изменяемых застроек г. Донецка. В центре каждой застройки встраивалось по одному 19, 22 и 25-этажному зданию (высотой 57 м, 63 м и 75 м) среди примерно одинаковых по высоте 5-этажных (высотой около 16 м) существующих 7-9 зданий. Максимальное значение высоты высотного здания в масштабе составило 0,42 - 0,5 м. Модели зданий были изготовлены в масштабе 1:125 и 1:140 согласно проектной документации и закреплялись на поворотном столе диаметром 2 м, поверхности зданий дренировались. Контур натурного круга, в границах которого было проведено моделирование, составил 250 м.

В границах застроек наблюдались многолетние деревья различной высоты от 5 м до 21 м. Многие деревья (тополи пирамидальные) превышают высоту 5-ти этажных домов на 4-5 м. Деревья условно были разделены на 6 типов по

высоте. Учитывая значительную плотность и взаимопроникновение крон деревьев, для моделирования присутствия деревьев были изготовлены и установлены в соответствующих местах древоподобные преграды. Моделирование присутствия деревьев выполнено для летнего периода, а вариант зимнего периода воспроизводился путем демонтажа моделей имитирующих деревья (см. рис. 1).

### 3. Программа исследования

Программа аэродинамических исследований масштабных моделей застроек в аэродинамической трубе предусматривала определение коэффициентов давления ветрового потока  $C_p$  на поверхностях зданий, расположенных рядом с высотным зданием. В процессе исследования определялась зависимость:

$$C_p = f(\theta), \quad (1)$$

где  $\theta$  — направления ветрового потока, которое изменялось в пределах  $\theta = 0^\circ \dots 360^\circ$  с шагом  $\Delta\theta = 9^\circ$ .

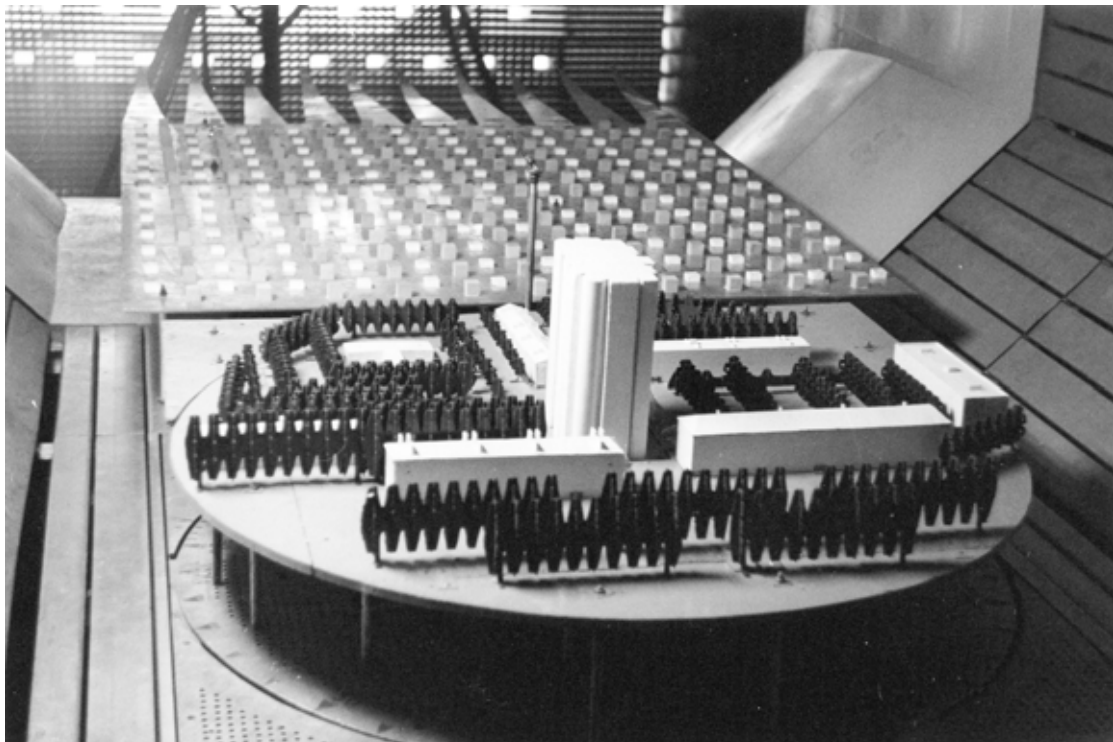


Рисунок 1. Вид одной из моделей застройки изнутри аэродинамической трубы

Процесс измерения ветрового давления, превращение его в электрический сигнал, обработка и отображение полученных результатов автоматизирован с использованием электронной системы. В состав системы входят: пневмокоммутатор ПК-420 с датчиками давления, высокопроизводительный компьютер с многофункциональной картой, которая обеспечивает превращение аналоговых сигналов в цифровые, принимает синхросигналы и создает управляющие сигналы, а также соответствующая коммутационная аппаратура и источники питания.

В состав системы также входят датчики мгновенных давлений MPXV5004DP фирмы "Motorola". Системы составили двухмашинный информационно-вычислительный комплекс, который запускался синхроимпульсом от одного из компьютеров. С доверительной вероятностью 90% случайная ошибка мгновенного значения коэффициента давления не превышала  $\varepsilon_{C_p} = 0,02$ .

#### 4. Результаты исследования

В сложившихся расположениях низких зданий в застройках в их центральных частях при наличии деревьев ("лето") и при отсутствии деревьев ("зима"), без высотного и с высотным зданием на более чем 80 моделях срезов вентиляционных каналов низких зданий в каждой дренажной точке были зафиксированы значительные изменения значений коэффициентов воздушного давления при действии ветра.

Исключением является 16% экспериментальных точек в диапазоне изменения направления ветрового потока 40 при наличии высотного здания и деревьев давление в точках изменяется от  $C_p = +0,18$  до  $C_p = -(0,4...0,6)$ . В этих же точках при отсутствии деревьев и влиянии высотного здания не изменяется давление  $C_p = +(0,06...0,15)$ .

Высотное здание частично изменяет распределение давлений на крышах окружающих его низких зданиях. Так, впереди высотного здания (наветренная сторона) возникает зона повышенного давления, а сзади (заветренная сторона) в зоне аэродинамического следа давление понижается. При западном и восточном направлениях ветров ( $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 180^\circ$ ) это влияние

меньше вследствие меньшего относительного поперечного размера сечения здания. При северном и южном ветрах ( $\theta = 90^\circ$  и  $\theta = 270^\circ$ ) влияние ветра наибольшее вследствие большего относительного фасадного размера высотного здания.

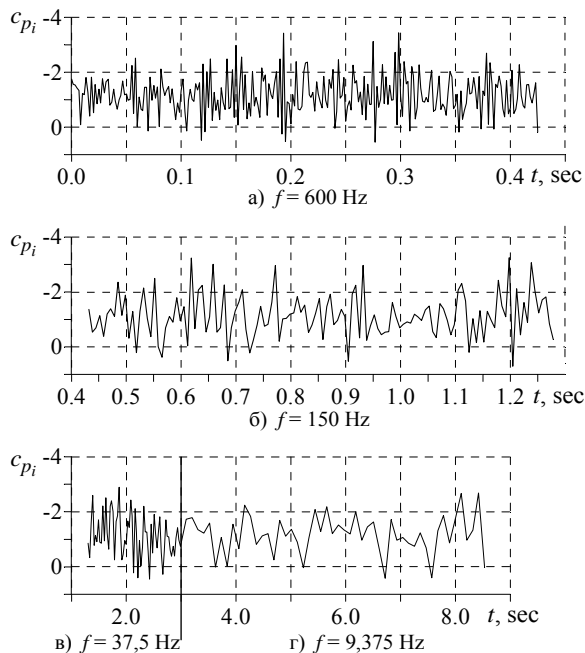
Например, в ряде точек при  $\theta = 40^\circ - 80^\circ$  уменьшение давления составляет  $\Delta C_p = -(0,1...1,1)$ , а при  $\theta = 40^\circ - 80^\circ$  давление увеличивается на  $\Delta C_p = +(0,01...0,08)$ , а в отдельных точках при  $\theta = 60^\circ - 140^\circ$  возникает дополнительное увеличение давления на крыше на  $\Delta C_p = +(0,2...0,3)$ .

Отсутствие моделей деревьев ("зима") больше влияет на характер зависимости  $C_p(\theta)$ , например, коэффициенты давления в точках, размещенных на стенах низких зданий. При отсутствии деревьев скорость ветра над крышей увеличивается, что и приводит к значительным изменениям давлений  $C_p = -(1,2...1,9)$ .

Некоторое повышение давления на крышах низких зданий коррелируют с одновременным повышением давления ветра на боковых стенах. Остальные примеры увеличения давления ветра на крышах низких зданий в зимних условиях компенсируются большими отличиями плотностей теплого (квартиры) и холодного (наружного) воздуха.

Качество получаемых результатов обеспечивалось измерительной системой. На рис. 2 приведен пример реализации измерений для случая наибольшего из зарегистрированных в экспериментах среднеквадратических отклонений пульсационной составляющей коэффициента давления. График представленный в виде четырех участков, которые включают последовательные измерения: 256 измерений с частотой опроса 600 Гц, 128 измерений с частотой опроса 600/4 Гц, 64 измерения с частотой опроса 600/16 Гц и 52 измерения с частотой опроса 600/64 Гц.

Из анализа графиков (рис. 2) видно, что частоты пульсаций в пределах до 300 Гц присущи потоку аэродинамической трубы с устройством для моделирования приземного пограничного слоя. В то же время, существенного тренда в данных на протяжении всего времени измерения 8,6 с не выявлено, что говорит о стабильности измерений. Размах пульсаций коэффициентов давления в выборке с наибольшей пульсацией составляет  $+1,87/-2,27$  единицы.



**Рисунок 2.** Реализация измерения пульсационной составляющей коэффициента давления:  $C_{p_{i\text{mean}}} = -1,17$ ,  $C_{p_{i\text{max}}} = +0,70$ ,  $C_{p_{i\text{min}}} = -3,43$ ,  $RMS_{c_p} = 0,74$

При этом наблюдаются кратковременные переходы коэффициентов давления через ноль в позитивную область, однако продолжительность таких всплесков является небольшой и не может повлиять на эффективность работы вентиляционных систем зданий.

Анализ метрологических характеристик использованных способов измерения малых величин давления ветрового потока свидетельствует о достаточно высоком метрологическом уровне выполненных экспериментальных исследований.

## 5. Выводы

В сложившихся расположениях низких зданий в застройках Результаты проведенных исследований еще раз подтверждают важность изучения интерференционных эффектов возникающих в городской застройке в особенности влияний высотного здания на ветровые нагрузки и на другие факторы, связанные с этими явлениями.

Обращают внимание следующие обобщенные факторы:

- 1) впереди высотного здания (с наветренной стороны) возникает зона повышенного давления, которая приводит к снижению давления на кровле низких зданий. Особенно это проявляется на участках крыш, ориентированных в сторону высотного здания и находящихся вблизи этого здания;
- 2) при направлении ветра вдоль большей стороны высотного здания указанная выше зона повышенного давления становится минимальной, что указывает на возможность привязки проекта высотного здания вблизи к существующей низковисотной застройке;
- 3) при направлении ветра перпендикулярно к большей стороне высотного здания, зона повышенного давления с наветренной стороны расширяется, что указывает на необходимость расположения высотного здания на большем расстоянии от низкой застройки;
- 4) после длительной эксплуатации низких застройки (более 20 лет) множество деревьев стали выше кровли зданий более чем 4 - 5 м, что приводит к ослаблению ветровых давлений;
- 5) на поверхностях и отдельных частях поверхностей низких зданий, которые были в непосредственной близости около высотного здания замечены относительно большие изменения коэффициентов давления. Эти явления имели локальный характер, поэтому они рассматривались отдельно;
- 6) визуальные наблюдения обтекания зданий застроек показали, что вокруг зданий, а особенно с наветренной стороны, существуют сложные нестационарные трехмерные вихревые течения и больше размерные зоны отрывных течений потока.

Проведенные экспериментальные исследования указывают на необходимость тщательного проектирования новых встроек в виде высотных зданий в существующие микрорайоны, которые вносят изменения на картину ветровых давлений.

## Література

1. Chang C.-H., Meroney R.N. Numerical and physical modeling of bluff body flow and dispersion in urban

- street canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89, 2001. pp. 1325-1334.
2. Khanduri A.C., Stathopoulos T., B?dard C. Wind-induced interference effects on buildings - a review of the state-of-the-art. *Engineering Structures*, 20, 7, 1998. pp. 617-630.
  3. Plate E.J., Kiefer H. Wind loads in urban areas. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89, 2001. pp. 1233-1256.
  4. Plate E.J., Davenport A.G. The risk of wind effects in cities. in: Cermak, et al., *Wind Climates in Cities*, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute in Waldbronn, Germany, NATO ASI Series, 277, Kluwer, Dordrecht, Netherlands, 1995. pp. 1-20.
  5. Sagrado A.P.G., Beeck J., Rambaud P., Olivari D. Numerical and experimental modelling of pollutant dispersion in a street canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90, 2002. pp. 321-339.
  6. Stathopoulos T. Adverse wind loads on low buildings due to buffing. *Journal of Structural Engineering*, 110 (10), 1984. pp. 2374-2392.
  7. Yahyai M., Kumar K., Krishna P., Pande P.K. Aerodynamic interference in tall rectangular buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41, 1992. pp. 859-866.

**Горохов Євген Васильович** працює завідувачем кафедри "Металеві конструкції", ректором Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Президент Української асоціації з металевих конструкцій, закордонний член Російської академії будівництва, Академік Академії Вищої освіти та Академії будівництва України. Член Міжнародного комітету по вивченню впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні впливи на будівельні конструкції.

**Кузнецов Сергій Георгійович** — кафедра "Архітектура промислових і цивільних будівель" Донбаської національної академії будівництва і архітектури, ННТЦ "Містобудування". Наукові інтереси: вітро-інженерія, експериментальне моделювання, вітрові навантаження на будівлі, вітровий режим навколо висотних будівель, комфорт пішоходу, мікрометеорологія, зменшення небезпеки вітру, інфільтрація і теплопереніс в будівлях.

**Горохов Евгений Васильевич** является заведующим кафедрой "Металлические конструкции", ректором Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Иностраный член Российской Академии строительства, Академик Академии Высшей школы и Академии строительства Украины. Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

**Кузнецов Сергей Георгиевич** — доцент кафедры "Архитектуры промышленных и гражданских зданий" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, УНТЦ "Градостроительство". Научные интересы: ветро-инженерия, экспериментальное моделирование, ветровые нагрузки на здания, ветровой режим вокруг высотных зданий, комфорт пешехода, микрометеорология, уменьшение опасности ветра, инфильтрация и теплоперенос в зданиях.

**Horokhov Yevgen Vasyl'ovych** is a Principal of Metal Structures department, rector of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a president of Ukrainian Association of Metal Construction. Foreign Member of Russian Building Academy, Member of High School and Building Academy of Ukraine. Member of International Working group in Wind Engineering. His research interests include the reliability of existing metal structures, climatic loads on buildings and structures.

**Kuznetsov Sergey Georgiyovych** — Assist. Prof. of the "Architecture Constructions of Industrial and Civil Buildings" Department Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ESTC "Town-planning". Research interests: wind engineering, experimental modeling, wind loads upon buildings, wind conditions around high-rise buildings, pedestrian comfort, micrometeorology, wind hazard reduction, infiltration and heat transfer in buildings.