



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО  
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

ТОМ 6, №3, 2010, 177-183

УДК 624.042.41:721.011.25

## ВІТРОВІ НАВАНТАЖЕННЯ НА ПОКРІВЛЮ МАЛОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ ПІД ВПЛИВОМ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ

**С. Г. Кузнецов, А. О. Дроздов**

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

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

*Отримана 24 серпня 2010; прийнята 24 вересня 2010.*

**Анотація.** Стаття присвячена вивченню вітрових навантажень на покрівлі малоповерхових будівель, розташованих поряд із багатоповерховими будівлями. Дослідження було проведено методами фізичного моделювання в аеродинамічній трубі з пограничним шаром атмосфери Донбаської національної академії будівництва і архітектури (Україна). Фізичне моделювання в аеродинамічних трубах має великі можливості при досліджуванні як планетарних пограничних шарів з урахуванням рельєфу та шорохуватості підстилаючої поверхні, так і локальних течій біля будівельного об'єкту, наприклад, у міських умовах. Проведені експериментальні дослідження вказують на необхідність ретельного проектування нової та реконструкції існуючої забудови із високоповерховими будівлями, які змінюють вітрові навантаження та збільшують відривні сили на покрівлях оточуючих їх малоповерхових будівель. Результати проведених досліджень доводять вагомість вивчення хвильових ефектів, які з'являються при обтіканні вітровим потоком багатоповерхової будівлі.

**Ключові слова:** висотна будівля, малоповерхова будівля, аеродинамічна труба з пограничним шаром, вітрові навантаження, хвильовий ефект у вітровому потоці.

## ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ НА КРОВЛЮ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

**С. Г. Кузнецов, А. А. Дроздов**

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

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

*Получена 24 августа 2010; принята 24 сентября 2010.*

**Аннотация.** Статья посвящена изучению ветровых нагрузок на кровли малоэтажных зданий, расположенных рядом с высотным зданием. Исследование было проведено методами физического моделирования в аэродинамической трубе с пограничным слоем атмосферы Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (Украина). Физическое моделирование в аэродинамических трубах обладает большими возможностями при исследовании как планетарных пограничных слоев с учетом рельефа и шероховатости подстилающей поверхности, так и локальных течений около строительного объекта, например, в городских условиях. Проведенные экспериментальные исследования указывают на необходимость тщательного проектирования новых и реконструируемых застроек с высотными зданиями, которые изменяют ветровые нагрузки и увеличивают отрывные силы на кровле окружающих их малоэтажных зданий. Результаты проведенных исследований подтверждают важность изучения волновых эффектов, которые возникают при обтекании ветровым потоком высотного здания.

**Ключевые слова:** высотное здание, малоэтажное здание, аэродинамическая труба с пограничным слоем, ветровые нагрузки, волновой эффект в ветровом потоке.

## WIND LOADS TO LOW-RISE BUILDING ROOFING UNDER EFFECT OF HIGH-RISE BUILDING

S. G. Kuznetsov, A. A. Drozdov

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: mail@olegfetisov.com*

*Received on August 24, 2010; accepted on September 24, 2010.*

**Abstract.** The paper deals with the study of wind loads to the low-rise building roofing standing near a high-rise building. The investigations have been conducted by physical modeling methods in the wind tunnel with a boundary layer of atmosphere of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Physical modeling in wind tunnels has great opportunities at investigation both planetary boundary layers, including the topography and underlying surface roughness and local flow near a building object, e.g. in municipal conditions. The conducted experimental investigations point out the necessity of careful designing of new and refurbished high-rise buildings development changing wind loads and increasing pull forces on roofs of surrounding low-rise building. The results of the investigations have confirmed importance of study wave effect arising when wind flows a high-rise building.

**Key words:** high-rise building, low-rise building, wind tunnel with a boundary layer, wind loads, wave effect in a wind flow.

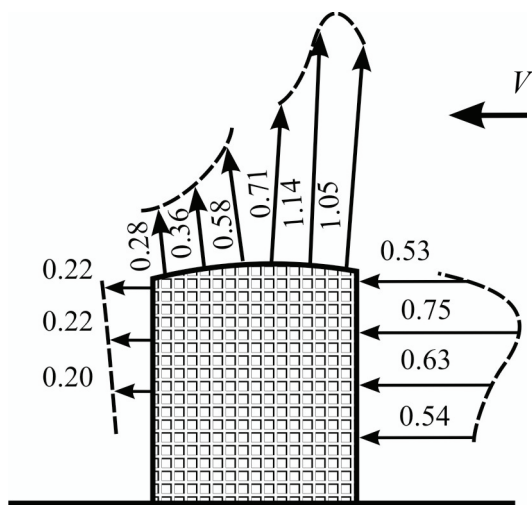
### 1. Введение

В строительных нормах как Украины, так и других стран не рассматриваются ветровые нагрузки, которые бы учитывали влияние рядом расположенных зданий или застройки. Особенно подвержены этому ветровому влиянию малоэтажные здания, располагаемые у высотного здания [3, 4]. Этот эффект объясняется тем, что при обтекании ветровым потоком высотного здания вокруг него создаются обширные области с пониженным давлением, которые становятся причиной возникновения сильных отрывных давлений на поверхностях кровли малоэтажного здания [1, 2]. На рис. 1 представлено распределение ветрового давления в средней вертикальной плоскости на малоэтажное отдельностоящее здание в форме куба [5, 6]. Здесь видно, что на лобовую сторону куба приложен положительный коэффициент давления (больше, чем атмосферное), на крыше куба высокий коэффициент отрицательного давления (разряжение), в частности около передней кромки, и маленький коэффициент отрицательного давления на задней стороне куба.

Физическое моделирование в аэродинамических трубах обладает большими возможностями при исследовании как планетарных погра-

ничных слоев с учетом рельефа и шероховатости подстилающей поверхности, так и локальных течений около строительного объекта, например, в городских условиях. Для экспериментального решения задач промышленной аэродинамики и большого круга метеорологических задач во многих странах эксплуатируется большое количество специализированных метеорологических аэродинамических труб [7]. Характерным для них является длинная рабочая часть, в которой за счет естественной шероховатости нижней ее стенки создается стационарный пограничный слой, подобный по целому ряду физических параметров приземному пограничному слою атмосферы. Такие аэродинамические трубы используются как для фундаментальных исследований в области аэродинамики плохообтекаемых тел, так и для получения экспериментальных данных, необходимых при проектировании зданий, сооружений и их комплексов [8].

Целью данной научно-исследовательской работы является определение ветровых нагрузок на кровлю малоэтажного здания, которые обуславливаются потоками, огибающими высотное здание. Исследование проводится методами физического масштабного моделирования в аэродинамической трубе с имитацией приземного пограничного слоя атмосферы.



**Рисунок 1.** Эпюры ветрового давления (коэффициенты) на кубе (стрелками показан знак давления: положительный – стрелка направлена к поверхности конструкции; отрицательный – стрелка направлена от поверхности конструкции) [4].

## 2. Волнообразование в ветровом потоке

Условно рассмотрим высотное здание как препятствие, располагаемое в потоке воды. Мы сразу заметим, что по сравнению с небольшими препятствиями, находящимися на дне, вокруг такой помехи при ее обтекании потоком будут возникать сильные возмущения. Также мы заметим, что дальше по потоку образуется клин (см. рис. 2) в виде расходящихся волн, который был впервые описан Кельвином в 1887 году.

Одним из применений клина Кельвина было проектирование судов, и тогда появился термин корабельные волны. Расходящиеся корабельные волны проявляются как свободные волны. Они обладают как ярко выраженными дисперсионными свойствами (увеличение длины и периода волны при ее свободном распространении), так и групповыми свойствами (скорость распространения волнового возмущения в два раза меньше скорости движения фронта каждой из волн, образующих волновой пакет). Угол расхождения пакетов корабельных волн не зависит от скорости хода корабля и является ярким подтверждением того, что пакеты свободных расходящихся волн движутся со скоростью в два раза меньшей, чем гребни составляющих их волн.

Подобные волновые явления возникают и в воздушной среде, в масштабе атмосферы земли их называют атмосферные гравитационные вол-

ны. Атмосферные гравитационные волны могут образоваться с подветренной стороны препятствий при устойчивой стратификации набегающего потока и направлении ветра у препятствия близком к перпендикулярному; их обычно называют подветренными. В литературе эти волны также носят название внутренних волн в атмосфере, орографических, запрепятственных или феновых волн [2]. Волновые движения в этом случае носят квазидвумерный характер (см. рис. 3).

Волновые эффекты, возникающие вокруг высотного здания подобно точечному источнику изменяют поля статического давления, что приводит к изменению ветровых нагрузок на малоэтажные здания. Для исследования этих эффектов проведем эксперименты в аэродинамической трубе с пограничным слоем.

## 3. Масштабное моделирование аэродинамических процессов

Аэродинамическая труба с пограничным слоем МАТ-1 Донбасской национальной академии строительства и архитектуры относится к классу дозвуковых аэродинамических труб малых скоростей разомкнутого контура с закрытой рабочей частью.

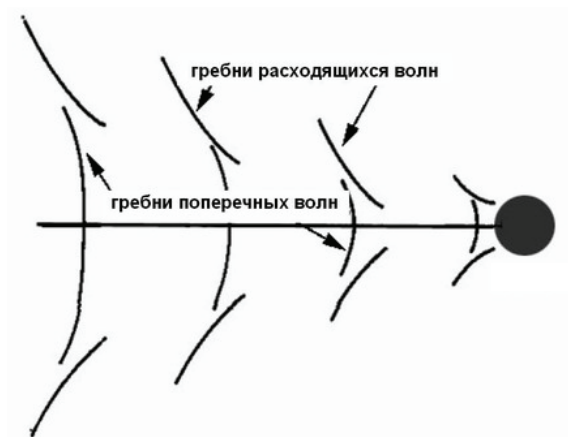
Конструкция аэродинамической трубы МАТ-1 включает следующие основные элементы: диффузор, вентилятор, хонейкомб и форкамеру с соплом.

Важное преимущество аэродинамической компоновки МАТ-1 прямого типа является одноразовость прохода смоделированного пограничного слоя атмосферы через рабочую часть. Применение тянущего винта, расположенного за рабочей частью, способствует достижению приемлемых интегральных стационарных характеристик пограничного слоя, под которым подразумевается вертикальные профили средней скорости, интенсивность турбулентности и касательные напряжения Рейнольдса.

Закрытая рабочая часть аэродинамической трубы расположена на участке между соплом и диффузором. МАТ-1 следует отнести к аэродинамическим трубам с длинным рабочим каналом, т. к. его относительная длина  $L/H \gg 6$ . В аэродинамической трубе формируется стационарный пограничный слой атмосферы с постоянными в



**Рисунок 2.** Образование клина Кельвина при обтекании точечной преграды в водной среде и образовании при этом волн [2].



**Рисунок 3.** Схематическое изображение пакета волн за точечными источниками.

плоскости характеристиками турбулентности посредством различных пассивных турбулизаторов в виде клиньев овальной формы, барьера пилообразной формы и кубиков на нижней стенке рабочего канала.

Форма поперечного сечения рабочего канала прямоугольная с размерами по ширине – 1,0 м и по высоте 0,7 м, длина рабочей части – 4,8 м соотношение  $L/H$  становится равным 6,9. В конце рабочей части расположен поворотный круг диаметром 0,9 м, на котором устанавливаются сменные платформы для размещения испытываемых моделей.

Выходное и входное сечение сопла имеют прямоугольную форму. Выходное сечение бесступенчато сопряжено по периметру со стенками рабочей части с размерами поперечного сечения

$B \times H = 1,0 \times 0,7$  м. Входное сечение сопла имеет размеры поперечного сечения  $B \times H = 1,5 \times 1,2$  м. Коэффициент поджатия потока 2,4. Длина сопла вместе с форкамерой 1,7 м. Перед входным криволинейным контуром сопла имеется цилиндрическая форкамера длиной 0,2 м. В форкамере установлен хонейкомб. При испытании скорость составила 20 м/с, распределение скорости потока в пограничном слое описывалось по степенному закону с показателем степени  $1/\alpha = 0,3$ , величина турбулентности снизу вверх изменялась от 20 до 5 % число Рейнольдса  $Re = 2 \cdot 10^5$ .

Для экспериментов было изготовлено две модели: малоэтажного (с плоской кровлей) и высотного здания. Модель высотного здания – препятствие, модель малоэтажного здания – модель, непосредственно на которой измерялись давления. Для измерения давления на кровле модели было выполнено дренирование, а дренажные точки соединялись с пневматической системой аэродинамической системой МАТ-1, в результате чего измерялись средние давления в каждой дренажной точке.

#### 4. Результаты

Результаты экспериментов приведены в виде средних коэффициентов ветрового давления –  $C_p$ . Эксперименты были проведены для двух случаев: отдельностоящее малоэтажное здание и комбинация «малоэтажное и высотное здание».

В обоих случаях варьировалось только направление воздушного потока за счет изменения

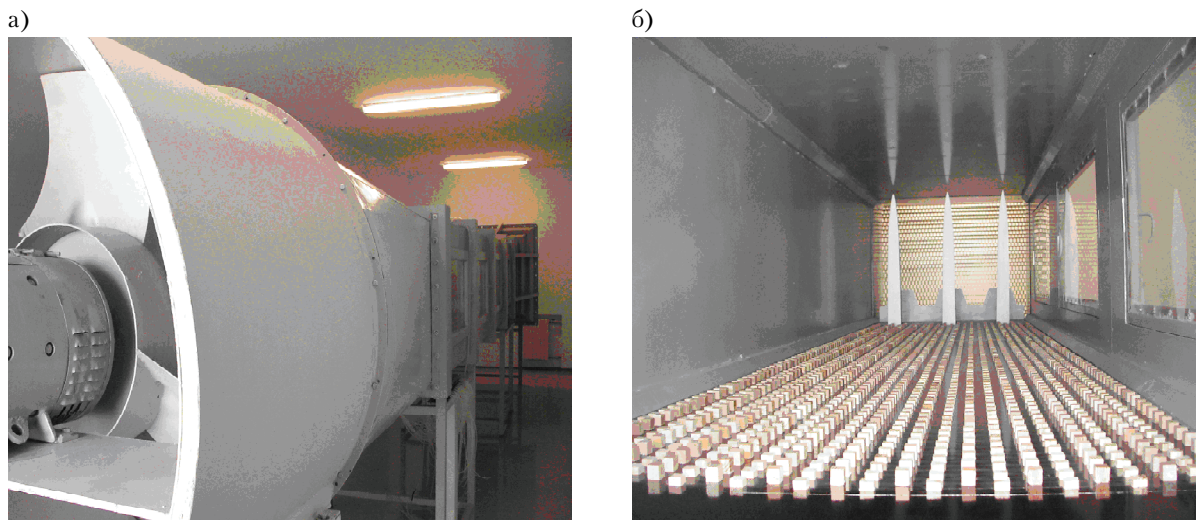


Рисунок 4. Аэродинамическая труба МАТ-1: а) вид снаружи, б) вид изнутри с расположенными турбулизаторами.

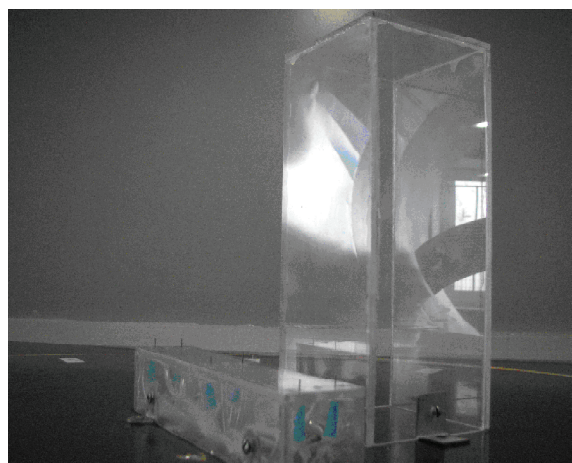
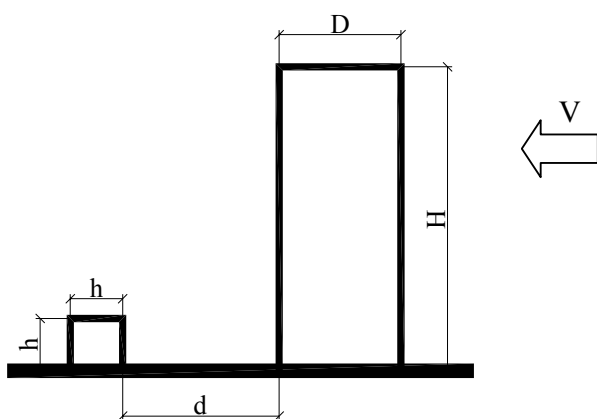


Рисунок 5. Внешний вид масштабной модели малоэтажного здания.

угла атаки  $\beta$ , значение которого принималось в пределах от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . По результатам экспериментов были получены следующие значения  $C_p$ ; при направлениях потока от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  отрицательные значения коэффициентов были максимальны от  $-3$  до  $-2$ ; при направлениях потока от  $90^\circ$  до  $150^\circ$  происходит уменьшение коэффициентов до  $-1$ ; при направлениях потока от  $150^\circ$  до  $180^\circ$  средние значения коэффициентов постоянны  $-0,7$ . При детальном анализе значений коэффициентов давлений наблюдалась волнообразная зависимость, что позволяет сказать о проявлении волновых эффектов.

Впереди высотного здания (с наветренной стороны) возникает зона повышенного давления, которая приводит к снижению отрицательных давлений на кровле малоэтажных зданий. При направлении ветра перпендикулярно к большей

стороне высотного здания, зона повышенного давления с наветренной стороны расширяется. На отдельных частях поверхностей крыш малоэтажных зданий, которые были в непосредственной близости высотного здания, замечены относительно большие изменения отрицательных коэффициентов давления до  $-3$ . Визуальные наблюдения обтекания зданий в застройке показали, что вокруг зданий, а особенно с наветренной стороны, существуют сложные нестационарные трехмерные вихревые течения и большемерные зоны отрывных течений потока с образованием волновых эффектов.

### Закключение

Результаты проведенных исследований еще раз подтверждают важность изучения волновых

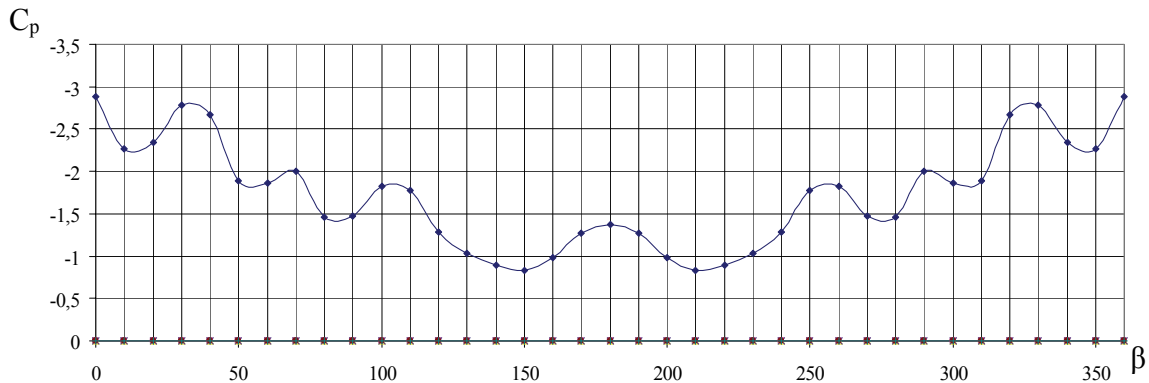


Рисунок 6. Пример средних статических давлений на поверхности крыши малоэтажного здания.

ефектів, що виникають навколо висотних будинків і оказують непряме вплив на дах малоповерхових будинків. Проведені експериментальні дослідження вказують на необхідність ретельного проектування нових і реконструкції застроек, які ущільнюються за рахунок встраювання висотних будинків.

#### Литература

1. Горохов Е. В. Экспериментальные методы определения ветровых нагрузок на здания и сооружения / Е. В. Горохов, С. Г. Кузнецов. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. – 168 с.
2. Кузнецов С. Г. Эффекты волнообразования при обтекании ветровым потоком высотных зданий и

сооружений / С. Г. Кузнецов. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. – 200 с.

3. Петтер Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э. И. Петтер. – М.: Стройиздат, 1984. – 415 с.
4. Cook N. J. The designer's guide to wind loading of building structures. Part 1: Background, damage survey, wind data and structural classification. – Garston, Building research establishment, London. 1985. – 372 p.
5. Dyrbye C., Hansen S. O. Wind loads on structures. New York: John Wiley & Sons. 1999. – 229 p.
6. Holmes J. D. Wind loading of structures. Great Britain: Eastbourne. 2005. – 356 p.
7. Irwin H.P.A.H. The design of spires for wind simulation. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics Vol. 7 (1981), P. 361–366.
8. Lawson T. Building aerodynamics. London: Imperial College Press. 2001. 286 p.

**Кузнецов Сергій Георгійович** – д.т.н., завідувач кафедри містобудування й інженерної графіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток методики оцінки вітрового впливу на будівлі, споруди та їх комплекси, удосконалення методик моделювання приземного пограничного шару атмосфери, натурних і модельних випробувань будівель та споруд на вітрове навантаження.

**Дроздов Андрій Олександрович** – студент кафедри архітектури промислових і цивільних будівель Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток методики оцінки вітрового впливу на будівлі, споруди та їх комплекси, удосконалення методик моделювання натурних і модельних випробувань будівель та споруд на вітрове навантаження.

**Кузнецов Сергей Георгиевич** – д.т.н., заведующий кафедрой градостроительства и инженерной графики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие методики оценки ветровых воздействий на здания, сооружения и их комплексы, совершенствование методик моделирования приземного пограничного слоя атмосферы, натурных и модельных испытаний зданий и сооружений на ветровое давление.

**Дроздов Андрей Александрович** – студент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие методики оценки ветровых воздействий на здания, сооружения и их комплексы, совершенствование методик моделирования натурных и модельных испытаний зданий и сооружений на ветровое давление.

**Kuznetsov Sergey Georgievich**, D. Sc. (Engineering) – the Chair of the Town-planning and Construction and Engineering Graphics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of method estimation of wind effects on buildings, construction and their complexes; perfection of methods modelling of a ground atmospheric boundary layer; full-scale and modelling tests of wind loads on buildings and structures.

**Drozдов Andrey Alexandrovich** – an undergraduate, the Architecture of Industrial and Civil Buildings Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of method estimation of wind effects on buildings, construction and their complexes, perfection of methods modelling of full-scale and modelling tests of wind loads on buildings and structures.