



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

№3, ТОМ 13 (2007) 151-161

УДК 624.042

(07)-0142-1

## **АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ АЕРОДИНАМІКИ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ**

**М.І. Казакевич**

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту*

*імені академіка В. Лазаряна*

*вул. Ак.Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна.*

*E-mail: mkazak@rambler.ru*

*Отримана 30 травня 2007; прийнята 18 червня 2007*

**Анотація.** У роботі сформульовані основні проблеми взаємодії висотних будівель з вітровим потоком з погляду різноманітності режимів обтікання і триєдиних проявів дискомфорту. Розглянуті фундаментальні особливості просторового обтікання висотних будівель. Особлива увага звертається на сучасні аспекти аеродинаміки висотних будівель. Надано рекомендації за призначенням максимальних значень аеродинамічних коефіцієнтів в зонах розрідження на бічних поверхнях і на покрівлі висотних будівель. Детально розглянуті триєдині прояви дискомфорту усередині будівлі й пішохідних зонах усередині забудованих територій. У роботі запропоновані перспективні й ефективні способи стабілізації вітрових потоків у пішохідній зоні, а також аеропружних реакцій висотних будівель баштового типу.

**Ключові слова:** висотна будівля, вітровий потік, просторове обтікання, дискомфорт, стабілізація.

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АЭРОДИНАМИКИ ВИСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

**М.И. Казакевич**

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта*

*имени академика В. Лазаряна*

*ул. Ак.Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина.*

*E-mail: mkazak@rambler.ru*

*Получена 30 мая 2007; принята 18 июня 2007*

**Аннотация.** В работе сформулированы основные проблемы взаимодействия высотных зданий с ветровым потоком с точки зрения разнообразия режимов обтекания и триединых проявлений дискомфорта. Рассмотрены фундаментальные особенности пространственного обтекания высотных зданий. Особое внимание обращено на современные аспекты аэродинамики высотных зданий. Даны рекомендации по назначению максимальных значений аэродинамических коэффициентов в зонах разрежения на боковых поверхностях и на кровле высотных зданий. Подробно рассмотрены триединые проявления дискомфорта внутри здания и в пешеходных зонах внутри застроенных территорий. В работе предложены перспективные и эффективные способы стабилизации ветровых потоков в пешеходной зоне, а также аеропружних реакций высотных зданий башенного типа.

**Ключевые слова:** высотное здание, ветровой поток, пространственное обтекание, дискомфорт, стабилизация.

## URGENT PROBLEMS OF HIGH-RISE BUILDING AERODYNAMICS

**M.I. Kazakevych**

*Dnipropetrovs'k V. Lazaryan National University of Railway Transport*

*2, Acad. Lazaryana str., 49010, Dnipropetrovs'k, Ukraine.*

*E-mail: mkazak@rambler.ru*

*Received 30 May 2007; Accepted 18 June 2007*

**Abstract.** Major problems of a high-rise building interaction with the wind flow from the point of view of the flow regime variety and triune discomfort developments are given in this paper. There are considered fundamental peculiarities of a high-rise building spatial flow-round. A special attention is paid to the present-day aspects of the high-rise building aerodynamics. There are given recommendations as to fixing maximum values of aerodynamic coefficients in the rarefaction zones on the high-rise building lateral surfaces and on the roof. The triune developments of discomfort inside the building and in pedestrian zones inside the built-up territories are considered in details. Prospective and effective ways of stabilizing wind flows in a pedestrian zone, as well as the methods of stabilizing aero-elastic reactions of the high-rise buildings of the tower type are suggested in the paper.

**Keywords:** high-rise building, wind flow, spatial flow-round, discomfort, stabilization.

*“... архитектура есть такая обширная наука, приукрашенная и обильно уснащенная массой разносторонних знаний...”*

*“архитектор ... человек, владеющий письмом, искусный в графике, обученный геометрии, знакомый с подбором рассказов из истории, прослушавший внимательно курс у философов, знающий музыку, не лишенный познаний в медицине, сведущий по части толкований юристами, обладающий знаниями астрономии и законов небесной механики...”*

**Марк Витрувий Поллион.  
Десять книг об архитектуре**

Новое массовое увлечение строительством высотных зданий требует более широкого применения архитекторами и инженерами научных достижений в различных областях знаний, в том числе физики, атмосферы, строительной аэродинамики, психо-физиологических разделов медицины и ряда других. Именно это требование завещал своим потомкам выдающийся архитектор древности Витрувий.

Мобилизация современных научных знаний позволяет более достоверно учитывать специфические особенности взаимодействия ветрового потока с высотными зданиями как в изолированном состоянии, так и в массивах городской высотной застройки различной композиции.

В рамках данного обзора не представляется возможным достаточно подробно изложить все многообразие особенностей взаимодействия ветрового потока с высотным зданием. Поэтому, наряду с изложением широкого спектра существующих проблем и их фрагментарной характеристики, данная работа описывает несколько наиболее значительных факторов, игнорируемых в связи с недостаточной компетентностью архитекторов и ответственностью властей.

К таким факторам, относятся в первую очередь:

- режимы обтекания, вызывающие возникновение качественно различных течений и потоков **вихревых, угловых, сквозных, винтовых и сопровождаемые “эффekten каньона”**,

“эффектом аэродинамической трубы”, “эффектом кобры” и “эффектом пылесоса”;

- триединые проявления дискомфорта, сопровождаемые “эффектом морской болезни” и “эффектом Монро”.

#### **Взаимодействие высотных зданий с ветровым потоком**

Взаимодействие высотных зданий с ветровым потоком обнаруживает большое разнообразие. Причину такого разнообразия следует искать как в свойствах ветрового потока, так и в многообразии высотных зданий.

К свойствам ветрового потока можно отнести:

- скорость ветра;
- направление ветра;
- градиент ветрового потока (угол атаки);
- степень турбулентности потока.

К многообразию высотных зданий в этом аспекте мы относим:

- конфигурацию здания;
- композицию зданий в массиве окружающей застройки;
- ориентацию застройки зданий по отношению к преобладающим (или наиболее сильным) ветрам;
- шероховатость поверхности здания, наличие балконов, лоджий, выступающих элементов различной конфигурации и назначения;
- наличие “карманов” и сквозных проемов как на уровне пешеходов, так и на внешней поверхности;
- наличие внешних и внутренних углов здания;
- свойства подстилающей поверхности территории, окружающей здание.

Даже приведенного перечня свойств ветрового потока и многообразия типов высотных зданий достаточно для понимания сложности основных проблем при их проектировании. При этом не упомянуты важнейшие климатические факторы, взаимодействующие с ветровым потоком, такие как температура и влажность воздуха, профиль ветра в приземном слое атмосферы с учетом характеристики пограничного слоя земли, отложения снега с возможностью образования “снеговых мешков”, гололедо-изморозевые отложения. Их влияние практически не поддается прогнозированию и должно моделироваться при экспериментальных исследованиях.

#### **Фундаментальные особенности пространственного обтекания высотных зданий**

К фундаментальным особенностям обтекания относятся:

1. трехмерность обтекания;
2. атмосферная турбулентность;
3. образование ускоренных течений;
4. аэроупругие реакции на турбулентность реальных ветровых потоков;
5. образование застойных (“мертвых”) зон;
6. возникновение дискомфортных состояний внутри и вокруг зданий;
7. стабилизация высотных зданий повышенной гибкости при ветровых воздействиях.

Ниже приведена краткая характеристика этих особенностей.

**Трехмерность обтекания** является важным свойством ветрового потока. Она обусловлена:

- конечными размерами высотных зданий;
- взаимодействием ветрового потока с высотным зданием в зоне границ его поверхности;
- градиентными свойствами ветрового потока в приземном слое атмосферы;
- степенным (или близким к нему) законом профиля ветрового потока в приземном слое атмосферы.

Трехмерность обтекания вызывает возникновение поля аэродинамических сил и моментов как главного фактора кинематического воздействия ветрового потока на высотные здания.

**Атмосферная турбулентность** ветрового потока возникает вследствие различных физических факторов:

- температурная конвекция;
- влияние пограничного слоя, обуславливающего профиль скорости ветра;
- обтекание углов плохообтекаемых тел, что приводит к отрыву потока или вихреобразованию.

Но основным фактором возникновения атмосферной турбулентности следует считать механический: неоднородный рельеф местности, кустарники, деревья, сооружения, здания, городская застройка создают порывы и пульсации ветрового потока.

Многие высотные здания, имеющие низкий и инфранизкий спектр частот собственных пространственных колебаний ниже 1 Гц и низкий уровень диссипации энергии, чувствительны к

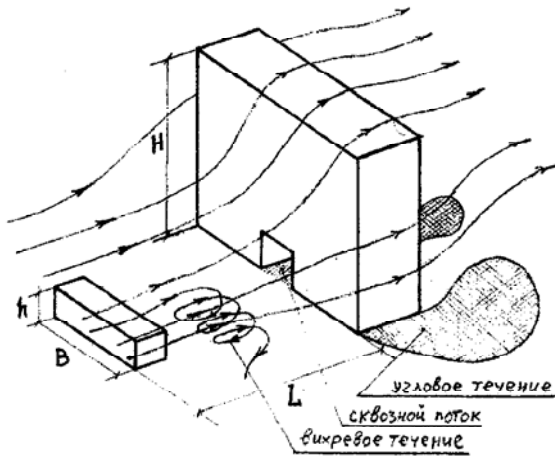


Рис. 1. Виды течений.

порывам ветра, т.е. к турбулентным потокам в приземном слое атмосферы.

**Образование ускоренных течений** в зоне высоких скоростей в приземном слое является следствием трехмерности потока при обтекании высотных зданий в массиве городской застройки.

Различают следующие виды течений (см. рис. 1) [1]:

- **вихревые течения** – образуются за искусственными или естественными препятствиями перед высотным зданием;
- **угловые течения** – перетекания ветрового потока через углы здания, сопровождаемые ускорением потока;
- **сквозные потоки** – ускоренные течения вдоль высотных зданий плотной застройки (“эффект каньона”) или в проемах, арках, проходах зданий (“эффект аэродинамической трубы”);
- **винтовые течения** – характерны для современных решений высотных зданий башенного типа конической, пирамидальной, винтообразной, сигарообразной и подобных архитектурных форм.

Сквозные потоки в прикладной аэродинамике характеризуются как струйные течения. Действительно, если в нижней зоне здания имеется сквозной проем, то часть потока всасывается в виде струй из наветренной стороны в подветренную зону здания. Подобные течения возникают и в поперечном потоку направлении между соседними зданиями.

Скорость сквозного потока, как правило, является функцией четырех параметров:  $H$ ,  $B$ ,  $h$  и  $L$ . Как показывают различные исследования, при направлении ветра нормально к фасаду здания (угол атаки  $\alpha = 0$  и угол скольжения  $\beta = 0$ ) отношение максимальной скорости ветра в проеме здания  $V_c$  к скорости ветра на высоте  $H$  составляет  $V_c/V_H = 1,2$ . Следовательно, давление ветра на пешехода в проеме здания еще значительно возрастает, т.к. соотношение  $V_c/V_H$  связано со скоростью ветра на высоте  $H$ , а не на отметке проема.

**Образование застойных (“мертвых”) зон** можно наблюдать при обтекании высотных зданий ступенчатого профиля, что может сопровождаться скоплением мусора, возникновением “снеговых мешков”.

#### Современные аспекты аэродинамики высотных зданий

Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий требуют решения ряда организационных, юридических и инженерно-технических вопросов. К ним, в частности, относятся:

1. Создание Технических Условий по проектированию, строительству и эксплуатации высотных зданий. Они должны регламентировать назначение ветровых нагрузок с учетом микрометеорологического районирования, топографических особенностей рельефа местности и влияния окружающей застройки. В них также должны найти отражение:
  - снеговые и гололедные воздействия на здания;
  - воздействия локального давления на элементы зданий (в первую очередь, ограждающие конструкции);
  - триединство действия ветра:
    - статическое,
    - пульсационное,
    - явления аэроупругой неустойчивости;
    - воздействие одиночного порыва ветра.

В аэродинамических исследованиях высотных зданий должны найти отражение в максимальном объеме динамические расчеты с получением спектров собственных частот и соответствующих им форм пространственных колебаний, в том числе в процессе монтажа.

2. Создание динамического паспорта высотных зданий.
3. Регулярная оценка дискомфортных состояний человека внутри и снаружи здания, в том числе:
  - дискомфортная реакция организма человека на вибрации в зависимости от их уровня и дозы (“**эффект морской болезни**”);
  - дискомфортная реакция организма человека на связанные изгибно-крутильные пространственные низкочастотные колебания высотных зданий башенного типа (“**эффект кобры**”);
  - дискомфорт в зоне пешеходов, вызванный ветрикальными потоками у поверхности земли (“**эффект Монро**”).

Особое значение в аэродинамике высотных зданий приобретает объективная оценка областей и значений локального отрицательного давления на боковые поверхности в угловых зонах и на кровлю. Она может быть получена лишь на основе аэродинамических экспериментальных исследований в аэродинамических трубах [2], либо при компьютерном моделировании. Это, несомненно, связано со значительными материальными затратами.

Вместе с тем, накопленный опыт и современные разработки национальных стандартов ряда стран позволяют дать конкретные рекомендации по назначению ветровых нагрузок на фрагменты стен и кровли высотных зданий в чувствительных зонах.

Не вникая в детальные характеристики геометрических параметров зон отрицательных значений ветрового давления, приведем его максимальные значения для угловых зон трех типов (см. табл. 1):

- внешние углы;
- внутренние углы (“карманы”);
- скошенные углы,
- также для двух типов кровли (см. табл. 2):
- плоские;
- сферические, с учетом влияния высоты карниза.

Приведенные в табл. 1 и 2 аэродинамические коэффициенты лобового сопротивления имеют важное, а в некоторых случаях и определяющее значение при решении следующих проблем высотного строительства:

- теплоперенос стеновых ограждений, в т.ч. из стекла;

- прочность и надежность ограждающих конструкций из стекла, архитектурных деталей, элементов их крепления, оконных рам;
- экологические последствия образования в “карманах” застойных зон (хаотическое движение и скопление бытового мусора).

### Триединые проявления дискомфорта

Высотные здания, подверженные действию ветра, должны быть достаточно прочными, удовлетворять требованиям надежности и обладать современными потребительскими качествами. Опыт последних десятилетий строительства высотных зданий отмечает особую актуальность одного из потребительских качеств – пригодность к нормальной эксплуатации в условиях интенсивных ветровых воздействий.

Это требование в общих чертах можно сформулировать следующим образом: здание должно быть запроектировано так, чтобы его пространственные колебания в ветровом потоке не вызывали неприятных ощущений у людей, находящихся как внутри, так и снаружи здания на различных прилегающих территориях, площадках и пешеходных зонах [3,4].

Вызываемый взаимодействием зданий с ветровым потоком дискомфорт сказывается и на пригодности к нормальной эксплуатации как внутри зданий, так и открытых пространств в пределах плотной застройки зданий, а также объектов общественного назначения на нижних этажах.

### Дискомфорт внутри здания

Описанные выше (см. табл. 1) краевые зоны существенного возрастания значений локального отрицательного давления – разрежения – приводят к невозможности открытия окон в этих зонах зданий из-за возникновения неблагоприятного дискомфорта явления – “**эффекта пылесоса**”.

Пригодность зданий к нормальной эксплуатации в контексте современных тенденций градостроительства приобретает особый аспект, а также в связи с участвовавшими случаями проявления недопустимого дискомфорта у людей, который вызван вибрациями зданий вследствие взаимодействия их с ветровым потоком.

Таблица 1. Максимальные значения аэродинамических коэффициентов в зонах разреза на боковых поверхностях высотного здания.

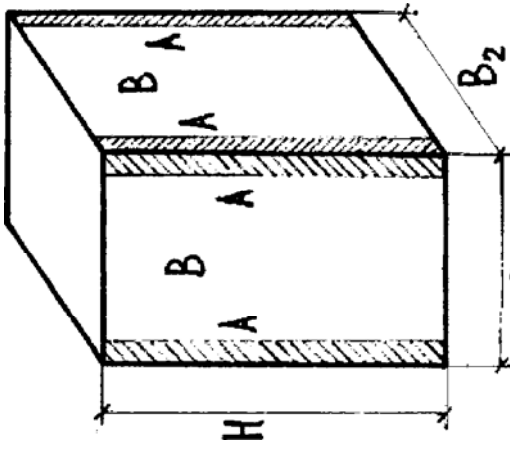
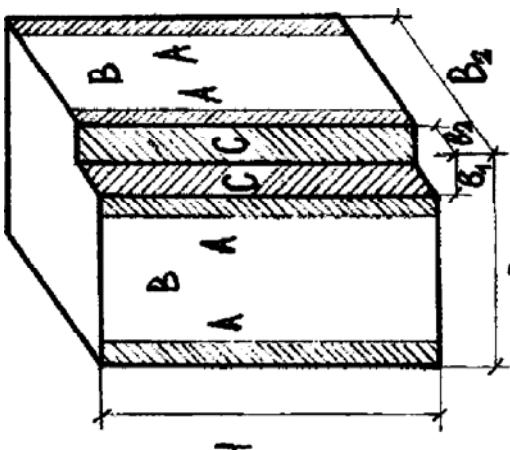
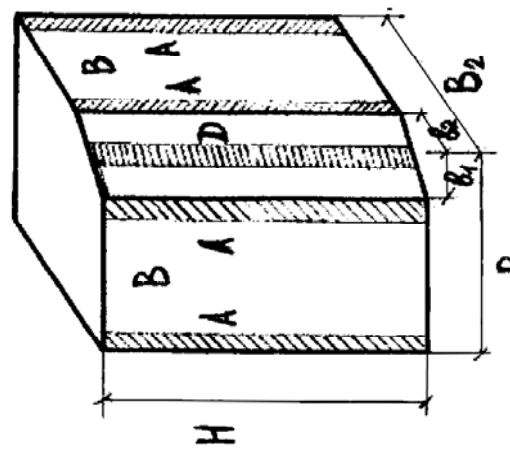
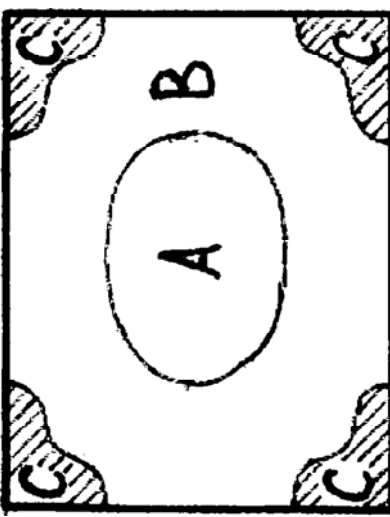
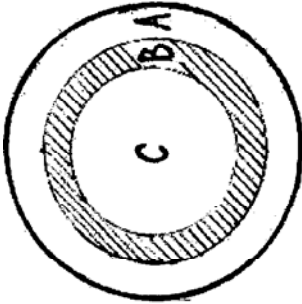

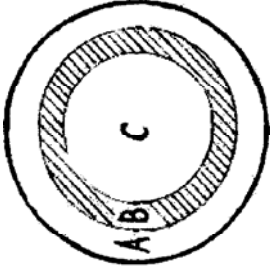

Прямоугольные стены	Прямоугольные стены с углубленным углом	Прямоугольные стены со скошенным углом
 <p style="text-align: center;"><math>H</math> <math>B_1</math> <math>B_2</math></p>	 <p style="text-align: center;"><math>H</math> <math>B_1</math> <math>B_2</math></p>	 <p style="text-align: center;"><math>H</math> <math>B_1</math> <math>B_2</math></p>
<p style="text-align: center;"><math>C_a = -3,0</math> <math>C_b = -2,4</math></p>	<p style="text-align: center;"><math>C_a = -3,0</math> <math>C_b = -2,4</math> <math>C_c = \begin{cases} -3,0 &amp; \text{при } b/B \leq 0,2 \\ -2,4 &amp; \text{при } b/B &gt; 0,2 \end{cases}</math></p>	<p style="text-align: center;"><math>C_a = -3,0</math> <math>C_b = -2,4</math> <math>C_d = \begin{cases} -3,0 &amp; \text{при } b/B \leq 0,2 \\ -2,4 &amp; \text{при } b/B &gt; 0,2 \end{cases}</math></p>

Таблица 2 . Максимальные значения аэродинамических коэффициентов в зонах разрежения на кровле высотных зданий.

Плоская кровля	Сферическая кровля	Сферическая кровля с карнизом
 <p> <math>C_a = -2,5</math>  <math>C_b = -3,2</math>  <math>C_c = -5,0</math> </p>	  <p> <math>C_a = \{</math>                      - 4,4 при <math>f/D = 0</math>                      - 2,6 при <math>f/D = 0,5</math>  <math>C_b = \{</math>                      - 3,7 при <math>f/D = 0</math>                      - 2,8 при <math>f/D = 0,5</math>  <math>C_c = \{</math>                      - 1,5 при <math>f/D = 0</math>                      - 3,0 при <math>f/D = 0,5</math> </p>	  <p> <math>C_a = \{</math>                      - 5,1 при <math>f/D = 0</math>; <math>h/D = 0,25</math>                      - 2,6 при <math>f/D = 0,5</math>; <math>h/D = 0,25</math>  <math>C_b = \{</math>                      - 3,7 при <math>f/D = 0</math>; <math>h/D = 0,25</math>                      - 2,8 при <math>f/D = 0,5</math>; <math>h/D = 0,25</math>  <math>C_c = \{</math>                      - 3,0 при <math>f/D = 0,5</math>;                 </p>

Критериями дискомфорта в этом случае являются уровни виброскоростей и виброускорений, качественная и количественная оценка которых зависит от амплитуд колебаний, частотных диапазонов и функционального назначения зданий или их отдельных фрагментов или участков.

Традиционно критерии дискомфорта отражают в Санитарных нормах, национальных стандартах, а также ISO. Вибрации зданий, вызванных ветровыми воздействиями, связаны чаще всего не с проявлением их аэроупругой неустойчивости, а с турбулентной (пульсационной) природой реального ветрового потока в приземном слое атмосферы. Поэтому интегральным параметром, позволяющим судить об уровне дискомфорта, следует считать значения низших тонов собственных частот пространственных колебаний, а не конфигурацию зданий и их ориентацию относительно вектора скорости ветрового потока [3,4].

Очевидно, что в большей степени недопустимый дискомфорт присущ гибким зданиям, обладающим низкими, а в отдельных случаях и инфранизкими частотами собственных колебаний (1 Гц). Во-первых, частоты колебаний до 1 Гц наименее изучены с точки зрения физиологического и психологического воздействия на организм человека. Во-вторых, даже в объемах современных знаний в этой области установлено, что реакция людей на эти вибрации разнообразна: от раздражительности у отдельных индивидов до укачивания с проявлениями неприятных симптомов – тошноты, головокружения, сонливости, затруднений при ходьбе (ощущение, что пол “уходит из-под ног”). Если опираться на новейшие данные медико-физиологических исследований, укачивания людей при низкочастотных вибрационных воздействиях предположительно являются формой частичных эпилептических припадков, затрагивающих мозг или ствол мозга человека, особенно в лежачем состоянии. Таким образом, воздействия низкочастотных вибраций на людей, вызванных взаимодействием гибких высотных зданий с ветровым потоком, требуют расширения понятия непригодности таких зданий к нормальной эксплуатации.

Полезно заметить, что методология изучения реакции людей на низкочастотные вибрационные воздействия чаще всего опирается на опрос

и экспертные оценки. И хотя в объективности оценок можно не сомневаться, данная методология указывает на начальный этап психо-физиологических исследований воздействия низкочастотных вибраций на организм человека [4].

Еще одно важное замечание. Взаимодействие психического и физиологического начал при оценке реакции человека на вибрационное воздействие обнаруживает максимальную корреляцию в ночное время суток для жилых помещений, а также в условиях тишины, характерной для рабочей среды людей, занятых умственным трудом или некоторыми технологическими операциями высокоточного неконвейерного производства. Это объясняется резким повышением чувствительности восприятия вибраций человеком.

Психическое начало в субъективных ощущениях и восприятиях дискомфортных вибраций значительно усиливается при возникновении акустических проявлений вибрации зданий или при фиксации взгляда человека на неподвижный окружающий ландшафт, особенно с большой высоты. К акустическим проявлениям вибрации можно отнести скрипы, например, при наличии в узлах и соединениях зданий источников сухого трения, взаимные соударения близко расположенных элементов, предметов, перекатывания предметов в состоянии безразлично-го равновесия и др.

Одним из критериев недопустимого дискомфорта гибких зданий при ветровом воздействии является повторяемость (частота появления) дискомфортного уровня вибрации определенной интенсивности за конкретный отрезок времени, т.е. допустимая вероятность их появления. Например, за неимением более достоверных оценок приводится следующий критерий. Среднее квадратическое значение виброускорения  $W = 0,5 \%$  от  $g$  (ускорения земного притяжения) должно вызывать неприятные ощущения у 2 % жителей данного яруса или этажа и повторяться не чаще одного раза в 6 лет. Соотношения между различными уровнями дискомфорта и вызывающими их виброускорениями предложены в табл. 3.

Исследования неизменно обнаруживают одну особенность – порог ощутимости колебаний снижается по мере возрастания значений частот вибрации.



Таблица 3. Зависимость уровня дискомфорта от виброускорения.

Уровень дискомфорта		Виброускорение (% от g)
Вибрации	неощутимые	0,5
	ощутимые	0,5 – 1,5
	раздражающие	1,5 – 5,0
	крайне раздражающие	5,0 – 15,0
	непереносимые	> 15,0

Таблица 4. Границы комфорта.

Критерий	Характеристика зоны	Наибольшая скорость в порыве, м/с	Частота повторений порывов, час/год
1	Площади и парки	~ 6	~ 1000 (до 10 % времени)
2	Пешеходные дорожки и другие зоны пребывания людей	~ 12	~ 50 (до 2 раз в месяц)
3	– " –	~ 20	~ 5
4	– " –	~ 25	< 1

### Дискомфорт в пешеходных зонах внутри застроенных территорий

В последние десятилетия появились разнообразные формы высотных зданий и композиций открытых пространств, которые могут создавать при определенных неблагоприятных обстоятельствах области интенсивных приземных потоков. Тем самым, могут быть созданы недопустимые дискомфортные условия для пешеходов в этой зоне. Чаще всего такие композиции включают комплексы высотных зданий, значительно возвышающиеся над окружающей городской застройкой. Такие зоны иногда называют **“городскими каньонами”**.

Для количественной оценки уровней дискомфорта требуется:

1. установить соответствие между различными уровнями дискомфорта для пешеходов и вызывающими его скоростями ветра;
2. определить максимально допустимые повторяемости, т.е. частоты повторения пороговых значений скорости ветра.

Некоторые источники предлагают приближенные границы уровней дискомфорта пешеходов:

$V = 5$  м/с – начало дискомфорта;

$V = 10$  м/с – неприятные ощущения;

$V = 20$  м/с – опасно,

которые соответствуют равномерному потоку.

Иногда в рассмотрение вводится понятие эффективной скорости  $V_{эфф}$ , учитывающей пульсации ветра в приземном слое атмосферы [1]:

$$V_{эфф} = V[1+k(\overline{V^2})^{1/2}/V],$$

где  $k = 3$ ;  $(\overline{V^2})^{1/2}$  – среднее квадратическое значение пульсаций продольного компонента скорости. В этом случае границы уровней дискомфорта несколько иные:

6 м/с – начало дискомфорта;

9 м/с – влияет на поведение пешеходов;

$V_{эфф} = 15$  м/с – вызывает затруднения при ходьбе;

20 м/с – становится опасно.

Способность пешеходов приспосабливаться к сильным ветрам значительно снижается при неожиданных порывах ветра. Накопленный к настоящему времени опыт позволяет оценить границы комфорта по критерию допустимой повторяемости (табл. 4).

Однако приведенные критерии носят субъективный характер и применяются из-за отсутствия более достоверных данных.

Поскольку нормируемые стандарты по критериям дискомфорта пешеходов на данный момент отсутствуют, практика применения критериев дискомфорта в градостроительстве вообще и в высотном, в частности, обычно регламентируется

компетентностью архитекторов и властей и является мерой уважения своих сограждан.

### Способы стабилизации ветровых потоков в пешеходной зоне

Несмотря на отсутствие стандартов по критерию дискомфорта пешеходов, известны положительные примеры улучшения режима приземного ветра с точки зрения его отрицательного воздействия на пешехода.

Так, например, если обнаруживается, что в определенных зонах приземные ветры слишком сильны или вызывают специфические течения и потоки, описанные выше (вихревые, угловые, сквозные – струйные, винтовые, градиентные), которые сопровождаются дискомфортными условиями для пешеходов, необходимо изыскивать способы изменения режима приземного ветра. В практике городской застройки высотных зданий известны эффективные способы улучшения ветрового режима в пешеходной зоне с целью защиты пешеходов от дискомфортных состояний:

1. открытые площадки следует по возможности проектировать таким образом, чтобы исключить движение пешеходов через зоны сильных ветров;
2. в потенциально опасных зонах предусматривать поручни;
3. устраивать покрытие над пешеходными зонами<sup>1</sup>;
4. устанавливать в соответствующих местах сплошные или ячеистые ветрозащитные экраны, однако они лишь способствуют отклонению ветрового потока с одного участка приземной зоны на другой;
5. высаживать плотно растущие деревья и кустарники высотой 2-3 м.

Отметим, что еще одной чувствительной зоной с точки зрения обеспечения не только дискомфорта, но и безопасности пребывания человека является кровля высотных зданий. Это вызвано двух-трехкратным увеличением скорости ветрового

потока на высоте 100-300 м и, соответственно, четырех-десятикратным возрастанием давления ветра как на человека при выполнении работ по эксплуатации и ремонту кровли, агрегатов и оборудования на кровле, так и на конструкции перильного ограждения.

### Стабилизация аэроупругих реакций высотных зданий башенного типа

Наиболее проблемной с точки зрения дискомфорта людей внутри здания является аэроупругая реакция высотных зданий преимущественно башенного типа на связанные изгибно-крутильные пространственные низкочастотные колебания (“**эффект кобры**”). Эффективный способ стабилизации подобных колебаний, разработанный в Японии, нашел широкое применение за последние два десятилетия. Он основан на создании гасителей колебаний принципиально нового типа – жидкостных настроенных гасителей колебаний (liquid dampers of vibrations). В качестве рабочей используется жидкость достаточно высокой вязкости, например, глицерин.

### Заключение

Подобное многообразие проявлений взаимодействия ветрового потока с высотными зданиями, которое весьма фрагментарно представлено в данном обзоре, не наблюдается даже для такого класса гибких конструкций, как висячие и вантовые мосты, антенно-мачтовые сооружения. Ключевой причиной различий является присутствие человека, как основного субъекта функционирования высотных зданий. Это обстоятельство повышает ответственность, с одной стороны, архитекторов и инженеров, а с другой стороны – власти за обеспечение потребительских качеств как с точки зрения прочности и надежности зданий, так и с точки зрения комфорта пребывания людей внутри здания и на окружающих территориях. Для этого требуется научное сопровождение генерального планирования территорий массовой застройки и проектирования высотных зданий.

<sup>1</sup> Иллюстрацией эффективности перекрытий пешеходных зон является пешеходный мост через реку Москва на Бережковской набережной в г. Москве

### Литература

1. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения / Пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецової; Под ред. Б.Е. Маслова. – М.: Стройиздат, 1984. 360 с.
2. Казакевич М.И., Мелашвили Ю.К., Сулаберидзе О.Г. Аэродинамика висячих покритий. – Киев: Будівельник, 1983. – 104 с.
3. Казакевич М.И. Аэродинамика мостов. – М.: Транспорт, 1987. – 240 с.
4. Казакевич М.И., Кулябко В.В. Введение в виброэкологию зданий и сооружений. – Днепропетровск: ПГАСА, 1996. – 200 с.

**Казакевич Михайло Исаакович**, заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри “Мости” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Дійсний член Транспортної академії України. Член Української Асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, динаміка і аеродинаміка будівельних конструкцій.

**Казакевич Михаил Исаакович**, заслуженный деятель науки и техники Украины, профессор кафедры “Мосты” Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Действительный член Транспортной академии Украины. Член Украинской Ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, динамика и аэродинамика строительных конструкций.

**Kazakevych Mykhaylo Isaakovych** is an Honored worker of science and engineering of Ukraine, a professor of “Bridges” Department at Dnipropetrovs’k National University of Railway Transport. He is a member of the Transport academy of Ukraine, a member of the Ukrainian Association of Metal Structures. His scientific interests are operating reliability of metal structures, dynamics and aerodynamics of structures.