



Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов

М.К. Михайлова¹, В.С. Далинчук², А.В. Бушманова³, Л.В. Доброгорская⁴

¹⁻⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 69	Подана в редакцию 28.10.2016	аэродинамика; высотные здания; ветровые потоки; ускоренные ветровые течения; роза ветров; ветровые нагрузки; аэродинамическая труба;

АННОТАЦИЯ

Учет аэродинамической характеристики очень важен для обеспечения безопасности высотных зданий. Такие здания могут иметь различные формы, и аэродинамика каждого уникальна, что делает ее определение весьма сложным процессом. Целью данной работы является определение основных аспектов аэродинамики зданий. В рамках поставленной цели решаются такие задачи, как выявление способов распознавания аэродинамической характеристики здания, рассмотрение аэродинамики комплекса зданий, установление основных факторов, оказывающих влияние на формирование и изменение аэродинамической обстановки, а также рассмотрены некоторые виды защиты от ветра на уровне пешеходов. Для этого были рассмотрены основные факторы, имеющие сильное влияние на аэродинамику здания, которые необходимо учитывать при проектировании. Было выявлено, что одними из наиболее эффективных способов определения распределения ветровых потоков является продувание модели здания в аэродинамической трубе, а также использование аэродинамических коэффициентов, что плотная застройка зданий требует особого внимания при рассмотрении и что при высоких скоростях ветровых потоков необходимы специальные мероприятия по защите на уровне пешеходов.

Содержание

1.	Введение	60
2.	Обзор литературы	60
3.	Цель и задачи	61
4.	Основная часть	61
5.	Заключение	64

Контактный автор:

- +7(904)3360888, mmikhaylova@gmail.com (Михайлова Мария Константиновна, студент)
- +7(911)1022991, dalinchuk_violet@mail.ru (Далинчук Виолетта Сергеевна, студент)
- +7(981)8223463, nicealexa@mail.ru (Бушманова Александра Васильевна, студент)
- +7(921)9215765, lubashka_95@mail.ru (Доброгорская Любовь Вячеславовна, студент)

1. Введение

Аэродинамика - раздел механики, в котором изучаются законы движения воздуха и силы, возникающие на поверхности тел, относительно которых происходит его движение.

При проектировании высотных зданий одним из важнейших факторов является их взаимодействие с ветровыми потоками, которые могут возникать как внутри, так и снаружи здания.

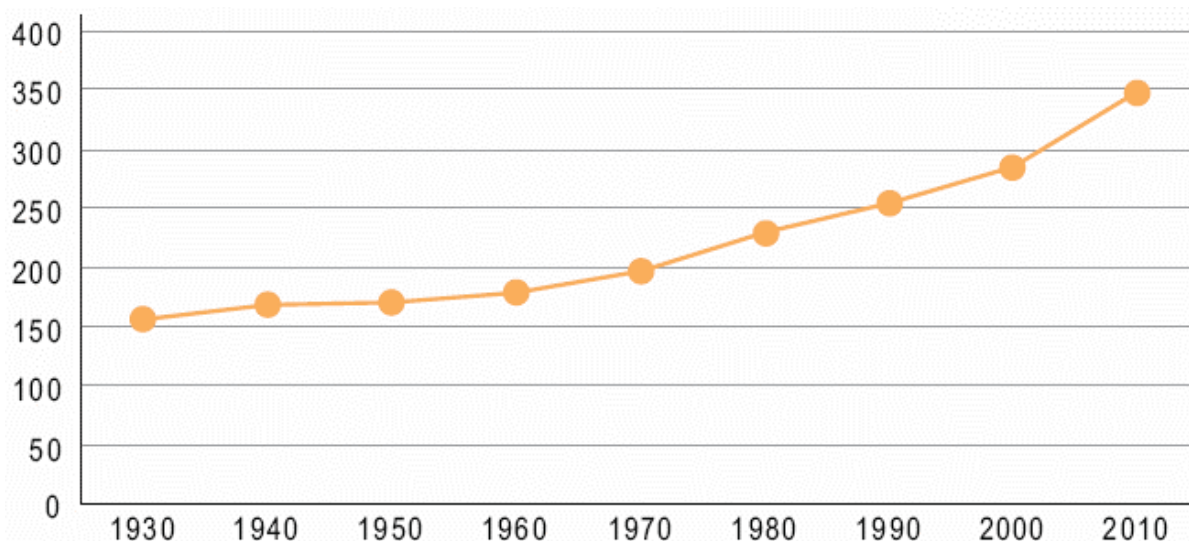


Рисунок 1. Увеличение средней высоты небоскребов в течении 80 лет [1]

При этом под высотным зданием понимают такое здание, высота которого превышает ширину подветренного фасада в три и более раз. Однако, аэродинамическими характеристиками здания, порой, пренебрегают. Важность учета ветровых нагрузок возрастает с увеличением высотности зданий и их количества, что в настоящее время весьма актуально, так как в последние годы в мегаполисах число высотных сооружений возрастает, а этажность увеличивается. Примерно каждый год средняя высота 100 самых высоких небоскребов в мире увеличивается на один этаж (рис. 1) [1].

За последние 50 лет строительство высотных зданий как нельзя актуально по той причине, что численность населения Земли незамедлительно растет, в соответствии с этим цены на земельные участки также увеличиваются, поэтому современные мегаполисы растут не только вширь, но и ввысь.

Одним из наиболее эффективных способов определения распространения ветровой нагрузки является моделирование проектируемого здания и продувание модели в аэродинамической трубе.

2. Обзор литературы

М.И. Казакевич в работе [2] уделяет внимание проблемам взаимодействия высотных зданий с ветровым потоком с точки зрения разнообразия режимов обтекания и триединых проявлений дискомфорта и фундаментальным особенностям их пространственного обтекания. Он предлагает различные способы стабилизации ветровых потоков в пешеходной зоне, а также аэроупругих реакций высотных зданий башенного типа. А.С. Гузеев, А.И. Короткин, А.О. Лебедев, Ю.А. Роговой [3] на базе полученных экспериментальных материалов отмечают некоторые существенные положения, которые стоит учитывать при проектировании высотных сооружений. Али Мусад Али в работе [4] представляет процедуру, которая помогает предугадать ответную реакцию высотного здания на ветровые нагрузки. Эта процедура имеет преимущества для учета некоторых форм колебаний, неравномерного распределения масс, а также помех от окружающих зданий. Е. В. Горохов и С. Г. Кузнецов в работе [5] рассматривают эффекты, которые оказывают высотные здания на малозатражную окружающую застройку, в том числе уделяют внимание положительным моментам такого расположения. В статье [6] Э. И. Реттер и Ф. Л. Серебровский предлагают формулы для определения аэродинамических коэффициентов в зависимости от геометрических размеров зданий и направления ветра и отмечают факторы, которые могут оказывать влияние на изменение этих коэффициентов.

3. Цель и задачи

Цель данной работы заключается в определении основных аспектов аэродинамики здания. В рамках работы решаются следующие задачи:

- 1) Выявление способов распознавания аэродинамической характеристики здания;
- 2) Рассмотрение аэродинамики комплекса зданий.
- 3) Установление основных факторов, оказывающих влияние на формирование и изменение аэродинамической обстановки

Определение некоторых видов защиты от ветра на уровне пешеходов

4. Основная часть

На взаимодействие ветровых потоков и здания оказывают влияние:

- скорость ветра;
- направление ветра;
- угол атаки;
- степень турбулентности потока;
- конфигурация здания;
- композиция зданий в массиве окружающей застройки;
- ориентация застройки зданий по отношению к наиболее сильным ветрам;
- шероховатость поверхности;
- наличие балконов, лоджий, выступающих элементов, “карманов” и сквозных проемов;
- наличие внешних и внутренних углов здания.

Основной причиной возникновения атмосферной турбулентности является неоднородность рельефа, окружающего здание: растительность, городская застройка [7-9].

При расположении в непосредственной близости нескольких однотипных высотных сооружений могут возникать значительные аэродинамические нагрузки, приводящие к разрушению зданий [10-14].

Строительство высотных зданий меняет аэродинамику близлежащей городской застройки, так как возникают сильные воздушные вихревые потоки, что может плохо сказаться на прилегающих зданиях. Данный момент влечет за собой необходимость обследования аэродинамики проектируемого здания с учетом окружающей застройки [15-19].

Окружающие здания имеют наиболее сильное влияние на обтекание рассматриваемого объекта ветровыми потоками в том случае, если расстояния между объектом и другими зданиями меньше пятикратной высоты выбранного объекта [20]. Их взаимное влияние сложно рассчитать, наиболее наглядно это взаимодействие можно увидеть, проведя исследование в аэродинамической трубе (рис.2) [21-26].

Вдобавок в аэродинамической трубе определяют аэродинамические коэффициенты, которые показывают отношение избыточного статического давления в одной из точек наружной поверхности здания к динамическому давлению ветра [27-31].

При направлении воздушного потока перпендикулярно длинной стороне здания ($\alpha = 90^\circ$) на наветренной стороне аэродинамические коэффициенты имеют положительное значение (от +0,6 до +0,8 в зависимости от степени шероховатости поверхности земли перед зданием). Верхняя

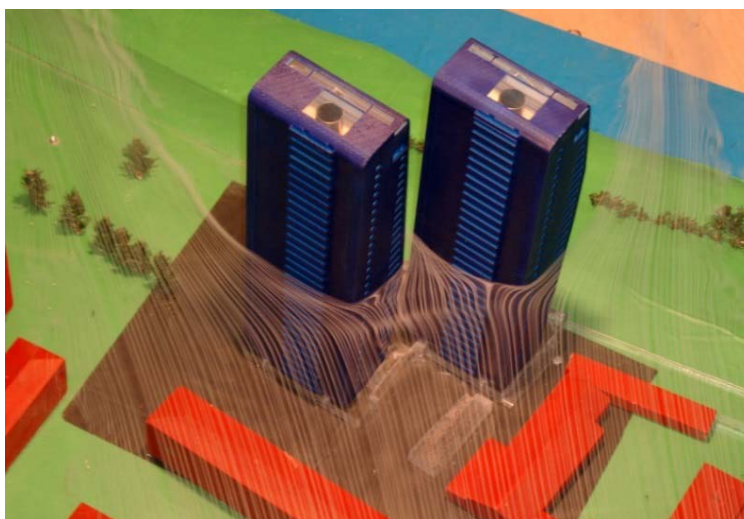


Рисунок 2. Обтекание комплекса зданий ветровыми потоками [26]

горизонтальная поверхность (или плоская кровля с небольшим уклоном) находится под разрежением [32-36].

При направлении воздушного потока вдоль продольной оси здания ($\alpha = 0^\circ$) аэродинамические коэффициенты зависят в основном от относительного расстояния между данным сечением, перпендикулярным скорости ветра, и передней торцевой стеной здания [37-39].

За счет торможения воздушного потока вблизи поверхности земли аэродинамические коэффициенты для вертикальных поверхностей несколько ниже и составляют в среднем $0,8 k_0$. Для наветренной торцевой стены $k_0 = +0,7-0,8$ и для заветренной торцевой поверхности $k_0 = -0,2-0,3$ [40-44].

С увеличением высоты здания, увеличивается воздействие ветра на ограждающие конструкции, из-за большой разности давлений на внутренней и внешней поверхностях ограждений традиционные окна не обладают необходимым сопротивлением воздухопроницанию, но учет розы ветров и средней скорости ветра позволяет выбрать оптимальную оконную конструкцию [45-50].

Характеристика ветрового режима определяется методом построения «розы ветров» (рис.3) [51]:

- 1) Рисуют основные (Север, Юг, Запад, Восток) и промежуточные (Северо-Запад, Северо-Восток, Юго-Запад, Юго-Восток) стороны горизонта;
- 2) Принимают соответствующую цену делений (1 деление-N дней);
- 3) Считают количество дней в течении месяца, когда ветер дует в данных направлениях;
- 4) На линиях соответствующих направлений откладывают от центра количество дней с ветрами интересующих направлений и ставят точку;
- 5) Отмеченные точки соединяют, а в центре рисуют кружок, в который вписывают число безветренных дней,

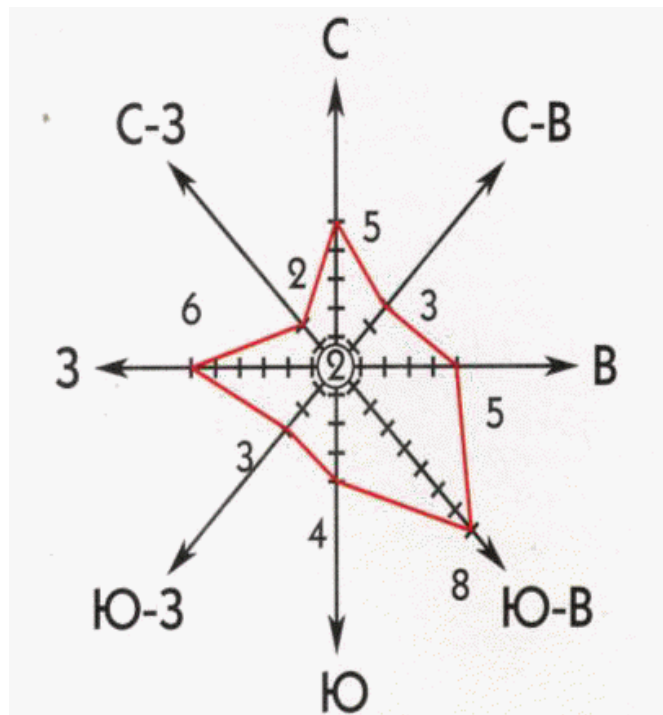


Рисунок 3. Роза ветров [51]

«Роза ветров» позволяет по длине лучей построенного многоугольника выявить направление господствующего, или преобладающего ветра, со стороны которого чаще всего приходит воздушный поток в данную местность [52-55].

Определяются следующие показатели:

- преобладающее направление ветра;
- скорость ветра с максимальной повторяемостью;
- определяется необходимость защиты пешехода от ветра зимой;

Расчетная ветровая нагрузка представляет собой совокупность:

1. Давления на ограждающую(внешнюю) поверхность здания [57];
2. Сил трения, касательных к ограждающей поверхности здания;
3. Давления на внутренние поверхности здания, такие как арки и другие открывающиеся или постоянно открытые проемы [58-60];

При проектировании высотных зданий, отношение высоты к поперечному размеру которых больше 10, необходимо учитывать резонансное вихревое возбуждение. Оно возникает, когда частота срыва вихрей с боковой поверхности здания близка к одной из его собственных частот [61-66].

Ускоренные течения бывают четырех видов:

1. Струйные (сквозные) течения – течения, возникающие в проемах зданий или вдоль зданий, расположенных плотно друг к другу;
2. Вихревые течения – течения, причиной которых является неровности земной поверхности или невысокие здания, или сооружения, расположенные поблизости со зданием [67-69];
3. Винтовые течения - течения, свойственные зданиям необычных архитектурных форм, например, винтовым (рис.4) [70-72].
4. Угловые течения - течения, которые возникают из-за угловатости здания при прохождении ветрового потока через угол (рис.4) [70], [73].

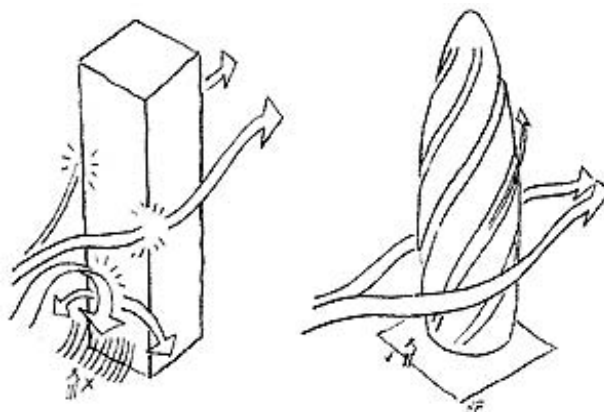


Рисунок 4. Угловые и винтовые течения [70]

Когда ветер достигает 5-6 м/с начинается перенос снега и песка, за высотными зданиями, в особенности на их торцах, появляются вращающиеся столбы воздуха и завихрения, которые при переносе снега или песка образуют массивные сугробы или скопления песка. При 12 м/с - легкие элементы здания или сооружения могут подвергаться опасности разрушения [74-78].

За линией застройки образуется зона относительного штиля или аэродинамической тени длиной $5h$ (где h – высота рассматриваемого здания), где наиболее благоприятно располагать детские площадки, площадки для отдыха, школы, детские сады и т.п. Зеленый массив увеличивает ширину аэродинамической тени, при условии, что его ширина не меньше 3 м [79-83].

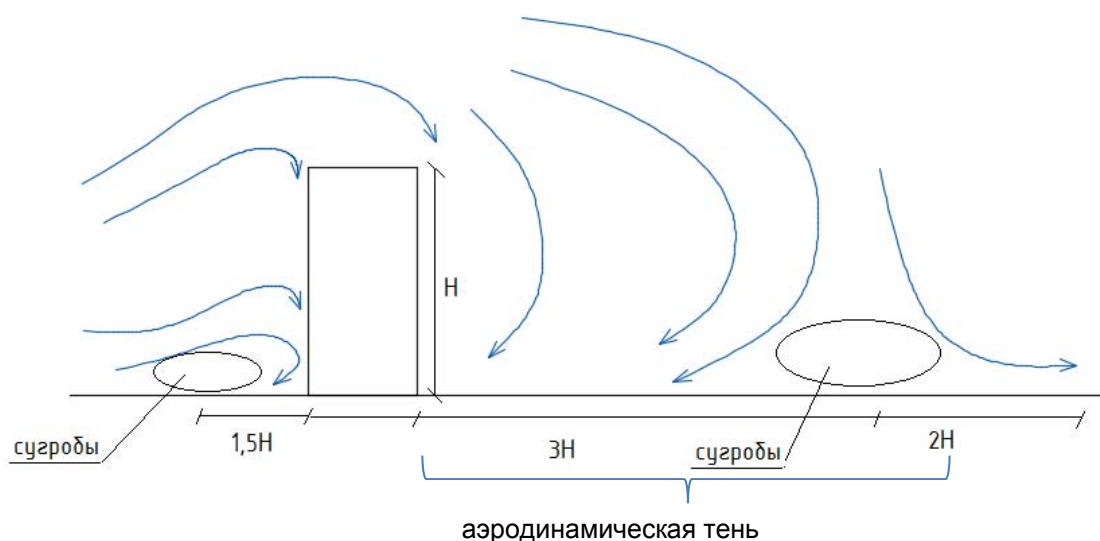


Рисунок 5. Обтекание здания аэродинамическими потоками

Во внутренних частях здания также могут возникать усиленные воздушные потоки, которые отрицательно влияют на работу систем вентиляции. Чтобы снизить интенсивность движения воздуха предусматривают шлюзы при входе на лестничные клетки и в лифтовые залы, а также шлюзы на входах в здание, которые увеличивают герметизацию межэтажных перекрытий [84-90].

Наиболее сильным потерям тепла подвергаются здания, расположенные перпендикулярно направлению господствующих или наиболее холодных ветров. Внутренние температуры таких зданий ниже на $1-7^{\circ}\text{C}$ по сравнению со зданиями, защищенными от ветра. Наилучшей постановкой зданий по

отношению к ветру является расположение параллельно господствующим ветрам. В Санкт-Петербурге преобладают западные, северо-западные и юго-западные ветра, которые поступают со стороны Атлантического океана [91-96].

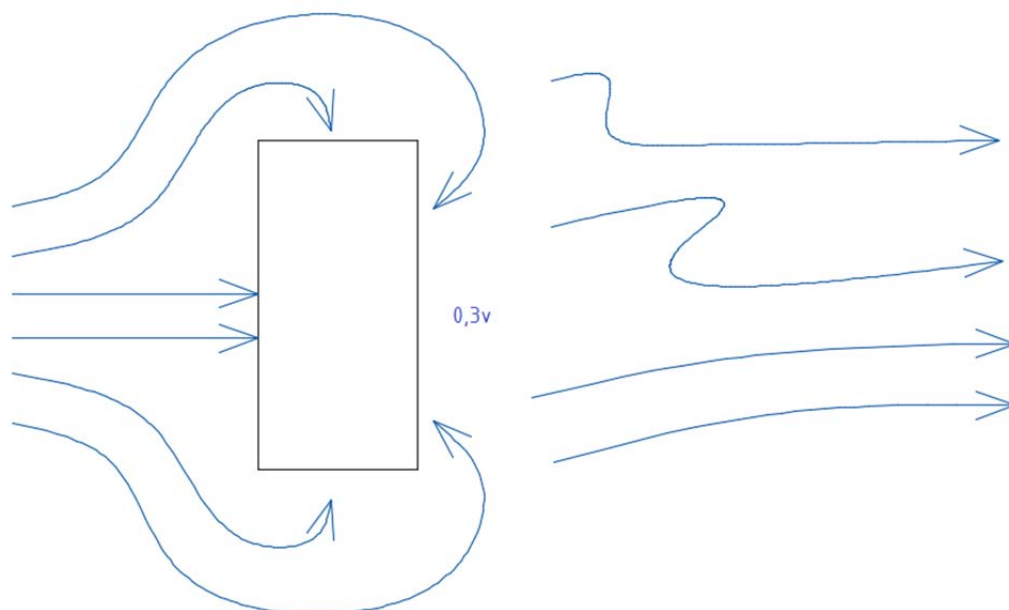


Рисунок 6. Обтекание здания ветровыми потоками

Человеку комфортно, когда скорость ветра не превышает 3,5 м/с. В комплексах зданий с высотными сооружениями могут возникать слишком высокие скорости ветра на уровне пешеходов, в такой ситуации необходимо проводить комплекс мероприятий, направленный на снижение скорости ветра до допустимых значений [97-101].

При скорости ветра от 4 м/с необходимо устанавливать защиту от ветра, например, плотно высаживать деревья, в результате чего увеличивается шероховатость земной поверхности, что приводит к снижению скорости ветра около земли, устанавливать ветрозащитные экраны или, в крайнем случае, поручни [102-106].

5. Заключение

В ходе аналитического обзора были сделаны следующие выводы:

- 1) Хорошим способом для наблюдения видов ветровых потоков, которые создает высотное здание, является моделирование и продувание модели здания в аэродинамической трубе.
- 2) Помимо моделирования воздушных потоков используют и расчетный метод, определяя аэродинамические коэффициенты.
- 3) При плотной застройке важно учитывать взаимное влияние зданий друг на друга, такая застройка может создавать струйные ускоренные течения.
- 4) При проектировании высотного здания необходимо учитывать все аспекты его аэродинамики как по отношению к надежности конструкции, так и к безопасности и комфортности человека, находящегося либо внутри здания, либо на прилегающей к нему территории.

При скоростях ветра на уровне пешеходов, превышающих предел комфортной скорости необходимо предусматривать мероприятия по защите пешеходов: ветрозащитные экраны, высаживать зеленые полосы, устанавливать поручни и др.

Литература

- [1]. Статистика самых высоких небоскребов в мире [электронный ресурс]. Систем. требования: Internet explorer. URL http://www.antula.ru/site-rielter_271.htm (дата обращения: 3.02.2016)
- [2]. Казакевич М.И. Актуальные проблемы аэродинамики высотных здания // Металлические конструкции. 2007. Т.13. №3. С.151-161.
- [3]. Гузев А.С., Короткин А.И., Лебедев А.О., Роговой Ю.А. Анализ некоторых результатов по определению аэродинамических характеристик высотных зданий // Инженерно-Строительный журнал. 2009. №3. С.50-52.
- [4]. Aly Aly. Pressure integration technique for predicting wind-induced response in high-rise buildings // Mousaad Alexandria Engineering Journal. 2013. №52. Pp.717-731.
- [5]. Горохов Е. В., Кузнецов С. Г. Ветровые нагрузки на низких зданиях в застройке с высотным зданием // Современное промышленное и гражданское строительство. 2006. Т. 3. №1. С.51-56.
- [6]. Реттер Э. И., Серебровский Ф. Л. Аэродинамическая характеристика жилых зданий // АВОК. 2008. № 5.
- [7]. Дорошенко С.А. Исследование влияния ближайшей застройки на изменение обтекания ветровым потоком высотного здания // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2013. №1(29). С.9-13.
- [8]. Дубинский С.И. Численное моделирование ветровых воздействий на высотные здания и комплексы // Диссертация. 2010. С.1-198.
- [9]. Генералов В.П., Генералова Е.М. Высотные жилые здания и комплексы // Монография. 2013. С.1-398.
- [10]. Hansen S. Vortex-induced vibrations of line-like structures // Structural Engineers World Congress. 2007. Vol. 15. №.1. Pp. 15-23.
- [11]. Айрапетов А.Б. Новые аспекты аэродинамики ветрового нагружения высотных зданий в мегаполисе, новые подходы и методические принципы исследований как источник концепции формирования новых нормативов проектирования и строительства // Academia. Архитектура и строительство. 2010. №3. С. 582-584.
- [12]. Кошкин А.А. Анализ динамического воздействия воздушного потока на тандем моделей высотных зданий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. №2(43). С.134-141.
- [13]. Исаев С.А., Баранов П.А., Жукова Ю.В., Терешкин А.А., Усачов А.Е. Моделирование ветрового воздействия на ансамбль высотных зданий с помощью многоблочных вычислительных технологий // Инженерно-физический журнал. 2014. Т.87. №1. С.107-118.
- [14]. Дубинский С.И. Численное моделирование ветровых воздействий на комплекс «Федерация» «Москва-Сити» // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2008. Т.04. №2. С.58-59.
- [15]. Дорошенко С.А. Исследование влияния близлежащей застройки на изменение обтекания ветровым потоком высотного здания // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2013. №1(29). С. 9-13.
- [16]. Дубинский С.И., Дорошенко А.В. Численное моделирование скоростей ветра в реальной застройке на примере района г.Токио // Приволжский научный журнал. 2012. №4(24). С.70-75.
- [17]. Попов Н.А., Богачев Д.С. Воздействия ветра на высотные здания в условиях плотной городской застройки // Вестник НИЦ Строительство. 2011. №3-4. С.189-198.
- [18]. Горохов Е.В., Васильев В.Н., Кузнецов С.Г., Лозинский Э.А. Уплотнение существующей жилой застройки высотным зданием с учетом ветрового подпора на вентиляционные системы низких зданий // Металлические конструкции. 2012. №1. С.49-60.
- [19]. Жучков О.А., Маринич Е.С., Турмов С.Г. Высотные здания и тенденции комплексной застройки в жилищном строительстве современного крупного города // Современное общество: проблемы, идеи, инновации. 2015. №4. С.89-93.
- [20]. Спиридонов С.В., Ключникова О.Н. Определение динамической составляющей ветровой нагрузки для несимметричных высотных зданий // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. 2012. №1. С.132-135.
- [21]. Pereira J.D. Wind Tunnels: Aerodynamics, Models and Experiments. New York: Nova Science Publishers, Inc. 2011. 227 p.
- [22]. Кузнецов С.Г. Испытание высотных зданий в аэродинамической трубе с атмосферным приземным пограничным слоем // Металлические конструкции. 2009. Т.15. №1. С.85-91.
- [23]. 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.
- [24]. Егорычев О.О., Орехов Г.В., Ковальчук О.А. Дорошенко С.А. Проработка конструкции аэродинамической трубы для проведения аэродинамических и аэроакустических испытаний строительных конструкций // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2011. №4. С.25-29.
- [25]. Аношкина О.О., Мокшин Д.И. Аэродинамические трубы и их использование в строительном проектировании // В сборнике: Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых 2015. С.119-123.
- [26]. Саленко С.Д., Однорал В.П., Телкова Ю.В., Гостеев Ю.А., Обуховский А.Д. Аэродинамические исследования комплекса высотных зданий // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2010. № 5. С.62-66.

- [27]. Кубенин А.С., Федосова А.Н. Прогнозирование ветровой нагрузки на уникальное высотное здание на основе численного моделирования // Научное обозрение. 2015. №8. С.130-135.
- [28]. Земцова О.Г., Шеин А.И., Бочкарев Р.В. Ветровые нагрузки на сооружения в виде давления переменного ветрового потока // Современные научные исследования и инновации. 2014. №11-1(43). С.31-34.
- [29]. Горохов Е.В., Пичугин С.Ф., Махинько А.В., Назим Я.В. Экспериментальное определение результирующих аэродинамических характеристик моделей зданий и сооружений // Металлические конструкции. 2011. Т.17. №2. С.85-95.
- [30]. Белостоцкий А.М., Дубинский С.И., Афанасьева И.Н. Численное моделирование задач строительной аэродинамики. Разработка методик и исследования реальных объектов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2010. Т.6. №1-2. С.67-69.
- [31]. Андреева П.И., Ковальчук О.А. Сравнительный анализ результатов экспериментальных натуральных динамических исследований и расчета динамических характеристик высотного жилого здания // International journal for computation civil and structural engineering. 2012. №4. С.13-18.
- [32]. Дыховичный Ю.А. Конструирование и расчет жилых и общественных зданий повышенной этажности. М.: Изд-во Рипол Классик, 2013. 254 с.
- [33]. Бекмаматова Л.Н., Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Особенности оценки ветрового воздействия на высотные здания // Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2016. №1(30). С.4-12.
- [34]. Кузнецов С.Г., Дроздов А.А. Ветровые нагрузки на кровлю малоэтажного здания под воздействием высотного здания // Современное промышленное и гражданское строительство. 2010. Т.6. №3. С.177-183.
- [35]. Земцова О.Г., Шеин А.И., Бочкарев Р.В. Ветровые нагрузки на сооружения в виде давления переменного ветрового потока // Современные научные исследования и инновации. 2014. №11-1(43). С.31-34.
- [36]. Поддаева О.И., Дубинский С.И., Федосова А.Н. Численное моделирование ветровой аэродинамики высотного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №9. С.23-27.
- [37]. Исаев С.А., Ватин Н.И., Баранов П.А., Судаков А.Г., Усачов А.Е., Егоров В.В. Разработка и верификация многоблочных вычислительных технологий для решения нестационарных задач строительной аэродинамики высотных зданий в рамках подхода URANS // Инженерно-строительный журнал. 2013. №1(36). С.103-109.
- [38]. Дубинский С.И. Расчеты высотных сооружений при ветровом воздействии // САПР и графика. 2005. №10. 1 с.
- [39]. Зверьяев Е.М. Возникновение волны сдвига при поперечном ударе по высотному зданию // Строительство и реконструкция. 2015. №3(59). С.67-74.
- [40]. Yin Zhou, Tracy Kijewski, Ahsan Kareem. Aerodynamic Loads on Tall Buildings: Interactive Database // Journal of Structural Engineering. 2004. Pp.395-404.
- [41]. Поддаева О.И., Дубинский С.И., Федосова А.Н. Численное моделирование ветровой аэродинамики высотного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №9. С.23-27.
- [42]. Горохов Е.В., Кузнецов С.Г., Васылев В.Н., Лозинский Э.А., Дроздов А.А. Ветровая нагрузка на высотное здание // Металлические конструкции. 2011. Т.17. №4. С.225-235.
- [43]. Евтушенко А.И., Олейникова Е.В., Кудасова А.С. Аэродинамика строительных конструкций // В книге: Строительство и архитектура - 2015 материалы международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО "Ростовский государственный строительный университет", Союз строителей южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. 2015. С. 330-331.
- [44]. Арабханов Р.М. Ветровые нагрузки на высотные жилые дома // Промышленное и гражданское строительство. 2004. №8. 24 с.
- [45]. Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. Аэродинамика высотных зданий // АВОК. 2004. № 8.
- [46]. Гувернюк С. В., Гагарин В. Г. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий // АВОК. 2006. № 8.
- [47]. Бедаш С. Н., Борисов А. В., Гагарин В. Г., Гувернюк С. В., Козлов В. В., Петров Д.Н. Расчет аэродинамики и дождевого увлажнения стен высотных зданий. // Ломоносовские чтения. Научная конференция. Секция механики. М.: Изд-во Московского ун-та, 2005. 56 с.
- [48]. Ваганова Ж.В. Исследование ускорения воздушного течения между зданиями повышенной этажности и его влияния на ветровую нагрузку на фасады // В сборнике: Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых 2015. С.132-133.
- [49]. Немова Д.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Корниенко С.В., Горшков А.С. Воздушный режим трехслойной стеновой конструкции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6 (45). С. 102-114.
- [50]. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 389-394.
- [51]. Построение розы ветров для городов России [электронный ресурс]. Систем. требования: Internet explorer. URL: http://stroydocs.com/info/e_veter (дата обращения: 3.02.2016)
- [52]. Лицкевич В.К., Конова Л.И. Учет природно-климатических условий местности в архитектурном проектировании. М.: Изд-во МАРХИ, 2011. 44 с.
- [53]. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменением N 2). 2012

- [54]. Чуринов П.С., Поддаева О.И., Егорычев О.О. Проектирование макетов уникальных зданий и сооружений в экспериментальной аэродинамике // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №5. С.332-335.
- [55]. Гузев А.С., Короткин А.И., Лебедев А.О., Роговой Ю.А. Воздействие ветрового потока на высотные здания // Жилищное строительство. 2009. №9. С. 13-17.
- [56]. Егорычев О.О., Чуринов П.С. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на высотные здания // Жилищное строительство. 2015. №6. С.20-22.
- [57]. Сергеевцев Е.Ю., Зубков Д.А., Румянцев А.А. Изучение динамических характеристик высотного здания // Вестник МГСУ. 2011. №4. 266 с.
- [58]. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. 2011
- [59]. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.В. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: Изд-во АСВ, 2007. 482 с.
- [60]. Мелешко В.А., Хертек У.Х., Роговой Ю.А. Определение аэродинамических параметров навеса вокзала «Олимпийский парк». Физический и численный эксперименты // Инженерно-Строительный журнал. 2013. №9. С.4-9.
- [61]. Соколов В.А., Страхов Д.А., Сняжков Л.Н. Расчет сооружений башенного типа на динамические воздействия с учетом податливости свайного фундамента и основания // Инженерно-Строительный журнал. 2013. №4. С. 46-50.
- [62]. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Долженко А.В. Динамический расчет зданий на ветровые нагрузки с учетом пульсационной составляющей // Журнал APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2013. №1. С.1-7.
- [63]. Ching-Wen C., Jing-Jong J. Case study of wind-resistant design and analysis of high mast structures based on different wind codes // Journal of Marine Science and Technology. 2008. Vol. 16. №4. Pp. 275–287.
- [64]. Бурцева О.А., Кабельков В.А. Оценка ветрового воздействия и исследование устойчивости высотных сооружений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2014. №3(178). С.59-65.
- [65]. Грышанкова А.Е. О проблеме учета колебаний при расчете инженерных конструкций // В сборнике: Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций труды Международной молодежной научной конференции, посвящённой 55-летию РУДН. 2014. С.239-243.
- [66]. Григорьев С.М., Сапожникова А.И. Динамический анализ влияния собственных и собственных сопутствующих колебаний на характер деформирования высотного здания // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. №1(132). С.27-31.
- [67]. Johari H., Desabrais K. Vortex shedding in the near wake of a parachute canopy // Journal of Fluid Mechanics. 2005. Vol. 536. Pp. 185–207.
- [68]. Алехин В.Н., Антипин А.А., Городилов С.Н., Бочкарева А.С., Мерзлякова Е.В., Резина Ю.В. Моделирование воздействий ветра на высотные здания // International journal for computation civil and structural engineering. 2008. №2. С.14-15.
- [69]. Макулов В.В., Квартальнов С.В. Воздействие ветра на высотные здания // Электронный научный журнал. 2016. №5(8). С.527-530.
- [70]. Ревзин Г.И. Обретение формы [электронный ресурс]. Систем. требования: Internet explorer. URL: http://www.projectclassica.ru/v_o/10_2004/10_2004_v_02a.htm (дата обращения: 3.02.2016)
- [71]. Amin J.A., Ahuja A.K. Aerodynamic modifications to the shape of the buildings: a review of the state-of-the-art // Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing). 2010. Vol.11. №4. Pp.433-450.
- [72]. Оленьков В.Д., Пузырев П.И. Моделирование аэродинамического воздействия на уникальные здания // В сборнике: Строительство и экология: теория, практика, инновации Сборник докладов I Международной научно-практической конференции. 2015. С.84-87.
- [73]. Eswara Kumar Bandi, Yukio Tamura, Akihito Yoshida, Yong Chul Kim, Qingshan Yang. Experimental investigation on aerodynamic characteristics of various triangular-section high-rise buildings // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2013. Pp.60-68.
- [74]. Исаев С. А., Судаков А. Г., Харченко В. Б., Усачов А. Е. Численное моделирование турбулентных отрывных течений в задачах внешней аэродинамики с помощью многоблочных вычислительных технологий. Модели и методы аэродинамики // Материалы Шестой Международной школы-семинара, Евпатория, 5–14 июня, 2006 г. М.: МЦНМО, 2006. 139 с.
- [75]. Управление обтеканием тел с вихревыми ячейками в приложении к летательным аппаратам интегральной компоновки (численное и физическое моделирование). Под ред. А. В. Ермишина и С. А. Исаева. М.: Изд-во Московского ун-та, 2003. 360 с.
- [76]. Шилькрот Е.О. Воздушный режим зданий с проемами в наружных ограждениях, оборудованных воздушными завесами // АВОК. 2005. № 8.
- [77]. Гутников В.А., Лифанов И.К., Сетуха А.В. О моделировании аэродинамики зданий и сооружений методом замкнутых вихревых рамок // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2006. №4. С.78-92.
- [78]. Сарана Е.П., Шейнин В.И. Усовершенствование методики инженерного расчета осадок и крена фундаментной конструкции высотного здания // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2007. №6. С.2-7.

- [79]. Wilcox D. C. Turbulence modeling for CFD. Monreal. DCW Industries, Inc. 2006. 522 p.
- [80]. Егорычев О.О., Чуринов П.С. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на высотные здания // Жилищное строительство. 2015. №6. С.20-22.
- [81]. Готина Д.Н., Ткаченко Ю.Г. Проблемы проектирования высотных зданий // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2011. Т.2. С.15-20.
- [82]. Дорошенко А.В. Программа оценка аэродинамической комфортности в пешеходных зонах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. №5(76). С.100-103.
- [83]. Зубков Д.А., Кузнецов В.В., Сергеевцев Е.Ю. Определение динамических характеристик в натуральных условиях высотного здания старой постройки // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. №4. С.38-39.
- [84]. Фейгина Е.В. Конструктивные особенности высотных зданий // Архитектура и строительство Москвы. 2006. №4. 6 с.
- [85]. Тарабанов М. Г. Опыт проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий // АВОК. 2004. № 6.
- [86]. Малявина Е. Г., Бирюков С. В., Дианов С. Н. Воздушный режим жилых зданий // АВОК. 2004. № 8.
- [87]. Jiming Xie. Aerodynamic optimization of super-tall buildings and its effectiveness assessment // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2014. Pp.88-98.
- [88]. Болотов Е.Н. Влияние организации воздухообмена на нормируемые параметры внутреннего воздуха в высотном здании // Жилищное строительство. 2013. №6. С.28-31.
- [89]. Дроздова А.А. Поиск рациональных форм высотного здания со встроенными ветрогенерирующими установками // Статья в сборнике трудов конференции. Строительство – формирование среды жизнедеятельности. М.: Изд-во МИСИ - МГСУ, 2015. С.204-207.
- [90]. Дудкина Е.Ю., Старцева Н.А., Шершнёв В.Н. К вопросу обеспечения микроклимата жилых высотных зданий // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2010. №1. С.53-56.
- [91]. Гныря А.И., Коробков С.В., Кошин А.А., Мокшин Д.И., Терехов В.И. Комплексные экспериментальные исследования аэродинамики и теплообмена моделей зданий и сооружений // Вестник ТГАСУ. 2011. №4. С.113-126.
- [92]. Isaev S.A., Vatin N.I., Lebiga V.A., Zinoviev V.N., Keh-Chin Chang, Jiun-Jih Miao. Problems and methods of numerical and experimental investigation of high rise constructions' aerodynamics in the coastal region "sea-land" // Magazine of Civil Engineering. 2013. №2(37). Pp. 54-61.
- [93]. Кубенин А.С., Федосова А.Н. Численное моделирование аэродинамики жилого комплекса с прилегающей застройкой // Научное обозрение. 2015. №8. С.136-141.
- [94]. Токарев О.К., Короткин А.И. Прикладные проблемы аэродинамики высотных зданий // Труды ЦНИИ им. Акад. А.Н.Крылова. 2010. №53. С.131-138.
- [95]. Корганбаев Б.Н. Физическая модель процесса обтекания воздушным потоком одиночных сооружений // Наука, новые технологии и инновации. 2008. №1-2. С.210-213.
- [96]. Зорин Р.Н., Стурова М.М. Энергоэффективность высотного здания на примере здания «Коммерцбанка» // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. Серия: Высокие технологии. Экология. 2015. №1. С.44-48.
- [97]. Дорошенко А.В. Программа оценка аэродинамической комфортности в пешеходных зонах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. №5(76). С.100-103.
- [98]. Поддаева О.И., Дуничкин И.В. Расчетно-экспериментальные исследования ветровых воздействий для жилых комплексов в Москве // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №4. С.42-45.
- [99]. Николаев С.В. Руководство по высотным зданиям. М.: Изд-во Москва, 2006. 223 с.
- [100]. Викторова Л.А. Высотные здания – плюсы и минусы строительства // Архитектура и строительство России. 2012. №10. С.2-11.
- [101]. Токарев О.К., Короткин А.И. Прикладные проблемы аэродинамики высотных зданий // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2010. №53. С.131-138.
- [102]. Поддаева О.И., Буслаева Ю.С., Грибач Д.С. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на многофункциональный высотный жилой комплекс // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №6. С.58-62.
- [103]. Евтушенко А.И., Данилейко И.Ю. Учет аэродинамических характеристик высотных зданий при разработке проектной документации // В книге: Строительство и архитектура - 2015 материалы международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО "Ростовский государственный строительный университет", Союз строителей южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. 2015. С. 322-324.
- [104]. Кузнецов С.Г., Дроздов А.А. Ветровые нагрузки на кровлю малоэтажного здания под воздействием высотного здания // Современное промышленное и гражданское строительство. 2010. №3. С.177-183.
- [105]. Зуева П.П. Высотное здание в городской среде // Статья в сборнике трудов конференции. 2014. С. 98-104.
- [106]. Кузнецов В.В., Сергеевцев Е.Ю., Зубков Д.А. Натурные динамические исследования высотного здания // Вестник МГСУ. 2011. №4. 238 с.

Design, construction and operation of high-rise buildings, taking into account the aerodynamic aspects

M.K. Mikhaylova¹, V.S. Dalinchuk², A.V. Bushmanova³, L.V. Dobrogorskaya⁴

¹⁻⁴ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

overview article

doi:

Article history

Received 28.10.2016

Keywords

aerodynamics;
high-rise buildings;
wind streams;
accelerated wind currents;
windrose;
wind loads;
wind tunnel;

ABSTRACT

The registration of aerodynamics characteristic is very important for the safety of high-rise buildings. These buildings could have different shapes and aerodynamic of each is unique what makes its definition a complicated process. The aim of this work is to identify the main aspects of buildings' aerodynamic. As part of the goal there are solve such problems as identifying ways of recognizing the aerodynamic characteristic of the building, review of the aerodynamic of building complex, identifying main factors influencing on formation and change of wind situation and also review of several methods of protection from wind on pedestrian level. There were examined the main factors that have a strong influence on the aerodynamic of the building and must be considered in design. There were detected that one of the most effective ways to determine the distribution of wind currents is to blow a building model in wind tunnel and that restrained urban conditions require the special attention in considering.

Corresponding author:

1. +7(904)3360888, mmikhaylova@gmail.com (Maria Konstantinovna Mikhaylova, Student)
2. +7(911)1022991, dalinchuk_violet@mail.ru (Violetta Sergeevna Dalinchuk, Student)
3. +7(981)8223463, nicealexa@mail.ru (Aleksandra Vasilyevna Bushmanova, Student)
4. +7(921)9215765, lubashka_95@mail.ru ((Luibov Vyacheslavovna Dobrogorskaya, Student)

References

- [1]. Statistika samykh vysokikh neboskrebov v mire [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Internet explorer. URL http://www.antula.ru/site-rielter_271.htm (data obrashcheniya: 3.02.2016)
- [2]. Kazakevich M.I. Aktualnyye problemy aerodinamiki vysotnykh zdaniya // Metallicheskiye konstruksii. 2007. T.13. №3. S.151-161.
- [3]. Guzeyev A.S., Korotkin A.I., Lebedev A.O., Rogovoy Yu.A. Analiz nekotorykh rezultatov po opredeleniyu aerodinamicheskikh kharakteristik vysotnykh zdaniy // Inzhenerno-Stroitelnyy zhurnal. 2009. №3. S.50-52.
- [4]. Aly Aly. Pressure integration technique for predicting wind-induced response in high-rise buildings // Mousaad Alexandria Engineering Journal. 2013. №52. Pp.717–731.
- [5]. Gorokhov Ye. V., Kuznetsov S. G. Vetrovyye nagruzki na nizkikh zdaniyakh v zastroyke s vysotnym zdaniyem // Sovremennoye promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2006. T. 3. №1. S.51-56.
- [6]. Retter E. I., Serebrovskiy F. L. Aerodinamicheskaya kharakteristika zhilykh zdaniy // AVOK. 2008. № 5.
- [7]. Doroshenko S.A. Issledovaniye vliyaniya blizhayshey zastroyki na izmeneniye obtekaniya vetrovym potokom vysotnogo zdaniya // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2013. №1(29). S.9-13.
- [8]. Dubinskiy S.I. Chislennoye modelirovaniye vetrovykh vozdeystviy na vysotnyye zdaniya i komplekсы // Dissertatsiya. 2010. S.1-198.
- [9]. Generalov V.P., Generalova Ye.M. Vysotnyye zhilye zdaniya i komplekсы // Monografiya. 2013. S.1-398.
- [10]. Hansen S. Vortex-induced vibrations of line-like structures // Structural Engineers World Congress. 2007. Vol. 15. №1. Pp. 15–23.
- [11]. Ayrapetov A.B. Novyye aspekty aerodinamiki vetrovogo nagruzheniya vysotnykh zdaniy v megapolise, novyye podkhody i metodicheskiye printsipy issledovaniy kak istochnik kontseptsii formirovaniya novykh normativov proyektirovaniya i stroitelstva // Academia. Arkhitektura i stroitelstvo. 2010. №3. S. 582-584.
- [12]. Koshkin A.A. Analiz dinamicheskogo vozdeystviya vozdušnogo potoka na tandem modeley vysotnykh zdaniy // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2014. №2(43). S.134-141.
- [13]. Isayev S.A., Baranov P.A., Zhukova Yu.V., Tereshkin A.A., Usachov A.Ye. Modelirovaniye vetrovogo vozdeystviya na ansambl vysotnykh zdaniy s pomoshchyu mnogoblochnykh vychislitelnykh tekhnologiy // Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. 2014. T.87. №1. S.107-118.
- [14]. Dubinskiy S.I. Chislennoye modelirovaniye vetrovykh vozdeystviy na kompleks «Federatsiya» «Moskva-Siti» // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2008. T.04. №2. S.58-59.
- [15]. Doroshenko S.A. Issledovaniye vliyaniya blizlezhashchey zastroyki na izmeneniye obtekaniya vetrovym potokom vysotnogo zdaniya // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2013. №1(29). S. 9-13.
- [16]. Dubinskiy S.I., Doroshenko A.V. Chislennoye modelirovaniye skorostey vetra v realnoy zastroyke na primere rayona g.Tokio // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2012. №4(24). S.70-75.
- [17]. Popov N.A., Bogachev D.S. Vozdeystviya vetra na vysotnyye zdaniya v usloviyakh plotnoy gorodskoy zastroyki // Vestnik NITs Stroitelstvo. 2011. №3-4. S.189-198.
- [18]. Gorokhov Ye.V., Vasilyev V.N., Kuznetsov S.G., Lozinskiy E.A. Uplotneniye sushchestvuyushchey zhiloy zastroyki vysotnym zdaniyem s uchetom vetrovogo podpora na ventilyatsionnyye sistemy nizkikh zdaniy // Metallicheskiye konstruksii. 2012. №1. S.49-60.
- [19]. Zhuchkov O.A., Marinich Ye.S., Turmov S.G. Vysotnyye zdaniya i tendentsii kompleksnoy zastroyki v zhilishchnom stroitelstve sovremennogo krupnogo goroda // Sovremennoye obshchestvo: problemy, idei, innovatsii. 2015. №4. S.89-93.
- [20]. Spiridonov S.V., Klyuchnikova O.N. Opredeleniye dinamicheskoy sostavlyayushchey vetrovoy nagruzki dlya nesimmetrichnykh vysotnykh zdaniy // Vestnik IzhGTU im. M.T. Kalashnikova. 2012. №1. S.132-135.
- [21]. Pereira J.D. Wind Tunnels: Aerodynamics, Models and Experiments. New York: Nova Science Publishers, Inc. 2011. 227 p.
- [22]. Kuznetsov S.G. Ispytaniye vysotnykh zdaniy v aerodinamicheskoy trube s atmosferym prizemnym pogranichnym sloyem // Metallicheskiye konstruksii. 2009. T.15. №1. S.85-91.
- [23]. Doroshenko S.A., Doroshenko A.V., Orekhov G.V. Opredeleniye vetrovoy nagruzki na trekhmernyye konstruksii s pomoshchyu modelirovaniya v aerodinamicheskoy trube // Vestnik MGSU. 2012. №7. S.69-74.
- [24]. Yegorychev O.O., Orekhov G.V., Kovalchuk O.A. Doroshenko S.A. Prorabotka konstruksii aerodinamicheskoy truby dlya provedeniya aerodinamicheskikh i aeroakusticheskikh ispytaniy stroitelnykh konstruksiy // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2011. №4. S.25-29.

- [25]. Anoshkina O.O., Mokshin D.I. Aerodinamicheskiye trubyy i ikh ispolzovaniye v stroitelnom proyektirovaniy // V sbornike: Izbrannyye doklady 61-y universitetskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh 2015. S.119-123.
- [26]. Salenko S.D., Odnoral V.P., Telkova YU.V., Gosteev YU.A., Obuhovskij A.D. Aehrodinamicheskie issledovaniya kompleksa vysootnykh zdaniy [Aerodynamic researches of high-rise buildings' complexe]// Ventilation, heating, air-conditioning, heat supply and building thermal physics (ABOK). 2010. No. 5. Pp.62-66. (rus)
- [27]. Kubenin A.S., Fedosova A.N. Prognozirovaniye vetrovoy nagruzki na unikalnoye vysootnoye zdaniye na osnove chislennogo modelirovaniya // Nauchnoye obozreniye. 2015. №8. S.130-135.
- [28]. Zemtsova O.G., Shein A.I., Bochkarev R.V. Vetrovyeye nagruzki na sooruzheniya v vide davleniya peremennogo vetrovogo potoka // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2014. №11-1(43). S.31-34.
- [29]. Gorokhov Ye.V., Pichugin S.F., Makhinko A.V., Nazim Ya.V. Eksperimentalnoye opredeleniye rezultruyushchikh aerodinamicheskikh kharakteristik modeley zdaniy i sooruzheniy // Metallicheskiye konstruksii. 2011. T.17. №2. S.85-95.
- [30]. Belostotskiy A.M., Dubinskiy S.I., Afanasyeva I.N. Chislennoye modelirovaniye zadach stroitelnoy aerodinamiki. Razrabotka metodik i issledovaniya realnykh obyektov // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2010. T.6. №1-2. S.67-69.
- [31]. Andreyeva P.I., Kovalchuk O.A. Sravnitelnyy analiz rezul'tatov eksperimentalnykh naturalnykh dinamicheskikh issledovaniy i rascheta dinamicheskikh kharakteristik vysootnogo zhilogo zdaniya // International journal for computation civil and structural engineering. 2012. №4. S.13-18.
- [32]. Dykhovichnyy Yu.A. Konstruirovaniye i raschet zhilykh i obshchestvennykh zdaniy povyshennoy etazhnosti. M.: Izd-vo Ripol Klassik, 2013. 254 s.
- [33]. Bekmamatova L.N., Alekseyenko V.N., Zhilenko O.B. Osobennosti otsenki vetrovogo vozdeystviya na vysootnyye zdaniya // Molodezhnyy nauchnyy forum: tekhnicheskkiye i matematicheskkiye nauki. 2016. №1(30). S.4-12.
- [34]. Kuznetsov S.G., Drozdov A.A. Vetrovyeye nagruzki na krovlyu maloetazhnogo zdaniya pod vozdeystviyem vysootnogo zdaniya // Sovremennoye promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2010. T.6. №3. S.177-183.
- [35]. Zemtsova O.G., Shein A.I., Bochkarev R.V. Vetrovyeye nagruzki na sooruzheniya v vide davleniya peremennogo vetrovogo potoka // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2014. №11-1(43). S.31-34.
- [36]. Poddayeva O.I., Dubinskiy S.I., Fedosova A.N. Chislennoye modelirovaniye vetrovoy aerodinamiki vysootnogo zdaniya // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2014. №9. S.23-27.
- [37]. Isayev S.A., Vatin N.I., Baranov P.A., Sudakov A.G., Usachov A.Ye., Yegorov V.V. Razrabotka i verifikatsiya mnogoblochnnykh vychislitelnykh tekhnologiy dlya resheniya nestatsionarnykh zadach stroitelnoy aerodinamiki vysootnykh zdaniy v ramkakh podkhoda URANS // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2013. №1(36). S.103-109.
- [38]. Dubinskiy S.I. Raschety vysootnykh sooruzheniy pri vetrovom vozdeystvii // SAPR i grafika. 2005. №10. 1 s.
- [39]. Zveryayev Ye.M. Vozniknoveniye volny sdviga pri poperechnom udare po vysootnomu zdaniyu // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. 2015. №3(59). S.67-74.
- [40]. Yin Zhou, Tracy Kijewski, Ahsan Kareem. Aerodynamic Loads on Tall Buildings: Interactive Database // Journal of Structural Engineering. 2004. Pp.395-404.
- [41]. Poddayeva O.I., Dubinskiy S.I., Fedosova A.N. Chislennoye modelirovaniye vetrovoy aerodinamiki vysootnogo zdaniya // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2014. №9. S.23-27.
- [42]. Gorokhov Ye.V., Kuznetsov S.G., Vasylev V.N., Lozinskiy E.A., Drozdov A.A. Vetrovaya nagruzka na vysootnoye zdaniye // Metallicheskiye konstruksii. 2011. T.17. №4. S.225-235.
- [43]. Yevtushenko A.I., Oleynikova Ye.V., Kudasova A.S. Aerodinamika stroitelnykh konstruksiy // V knige: Stroitelstvo i arkhitektura - 2015 materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. FGBOU VPO "Rostovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy universitet", Soyuz stroiteley yuzhnogo federalnogo okruga, Assotsiatsiya stroiteley Dona. 2015. S. 330-331.
- [44]. Arabkhanov R.M. Vetrovyeye nagruzki na vysootnyye zhilye doma // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2004. №8. 24 s.
- [45]. Tabunshchikov Yu. A., Shilkin N. V. Aerodinamika vysootnykh zdaniy // AVOK. 2004. № 8.
- [46]. Guvernuyk S. V., Gagarin V. G. Kompyuternoye modelirovaniye aerodinamicheskikh vozdeystviy na elementy ograzhdeniy vysootnykh zdaniy // AVOK. 2006. № 8.
- [47]. Bedash S. N., Borisov A. V., Gagarin V. G., Guvernuyk S. V., Kozlov V. V., Petrov D.N. Raschet aerodinamiki i dozhdevogo uvlazhneniya sten vysootnykh zdaniy. // Lomonosovskiye chteniya. Nauchnaya konferentsiya. Sektsiya mekhaniki. M.: Izd-vo Moskovskogo un-ta, 2005. 56 s.
- [48]. Vaganova Zh.V. Issledovaniye uskoreniya vozdušnogo techeniya mezhdu zdaniyami povyshennoy etazhnosti i yego vliyaniya na vetrovuyu nagruzku na fasady // V sbornike: Izbrannyye doklady 61-y universitetskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh 2015. S.132-133.

- [49]. Nemova D.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Korniyenko S.V., Gorshkov A.S. *Vozdushnyy rezhim trekhslonnoy stenovoy konstruksii // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2016. № 6 (45). S. 102–114.
- [50]. Korniyenko S.V. *Temperaturno-vlazhnostnyy rezhim naruzhnykh sten s ventiliruyemym fasadom // Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2009. № 5. S. 389–394.
- [51]. *Postroyeniye rozy vetrov dlya gorodov Rossii [elektronnyy resurs]*. Sistem. trebovaniya: Internet explorer. URL: http://stroydocs.com/info/e_veter (data obrashcheniya: 3.02.2016)
- [52]. Litskevich V.K., Konova L.I. *Uchet prirodno-klimaticheskikh usloviy mestnosti v arkhitekturnom proyektirovanii*. M.: Izd-vo MARKhI, 2011. 44 s.
- [53]. SP 131.13330.2012. *Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-01-99* (s Izmeneniyem N 2)*. 2012
- [54]. Churin P.S., Poddayeva O.I., Yegorychev O.O. *Proyektirovaniye maketov unikalnykh zdaniy i sooruzheniy v eksperimentalnoy aerodinamike // Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzhya*. 2014. №5. S.332-335.
- [55]. Guzeyev A.S., Korotkin A.I., Lebedev A.O., Rogovoy Yu.A. *Vozdeystviye vetrovogo potoka na vysotnyye zdaniya // Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2009. №9. S. 13-17.
- [56]. Yegorychev O.O., Churin P.S. *Eksperimentalnoy issledovaniye vetrovykh nagruzok na vysotnyye zdaniya // Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2015. №6. S.20-22.
- [57]. Sergeyevtsev Ye.Yu., Zubkov D.A., Rummyantsev A.A. *Izucheniye dinamicheskikh kharakteristik vysotnogo zdaniya // Vestnik MGSU*. 2011. №4. 266 s.
- [58]. SP 20.13330.2011. *Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85**. 2011
- [59]. Gordeyev V.N., Lantukh-Lyashchenko A.I., Pashinskiy V.A., Perelmutter A.V., Pichugin S.V. *Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya*. M.: Izd-vo ASV, 2007. 482 s.
- [60]. Meleshko V.A., Khertek U.Kh., Rogovoy Yu.A. *Opredele niye aerodinamicheskikh parametrov navesa vokzala «Olimpiyskiy park». Fizicheskiy i chislennyy eksperimenty // Inzhenerno-Stroitelnyy zhurnal*. 2013. №9. S.4-9.
- [61]. Sokolov V.A., Strakhov D.A., Sinyakov L.N. *Raschet sooruzheniy bashennogo tipa na dinamicheskiye vozdeystviya s ucheto m podatlivosti svaynogo fundamenta i osnovaniya // Inzhenerno-Stroitelnyy zhurnal*. 2013. №4. S. 46-50.
- [62]. Kravchenko G.M., Trufanova Ye.V., Dolzhenko A.V. *Dinamicheskiy raschet zdaniy na vetrovyye nagruzki s ucheto m pulsatsionnoy sostavlyayushchey // Zhurnal APRIORI. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*. 2013. №1. S.1-7.
- [63]. Ching-Wen C., Jing-Jong J. *Case study of wind-resistant design and analysis of high mast structures based on different wind codes // Journal of Marine Science and Technology*. 2008. Vol. 16. №4. Pp. 275–287.
- [64]. Burtseva O.A., Kabelkov V.A. *Otsenka vetrovogo vozdeystviya i issledovaniye ustoychivosti vysotnykh sooruzheniy //Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskiye nauki*. 2014. №3(178). S.59-65.
- [65]. Gryshankova A.Ye. *O probleme ucheta kolebaniy pri raschete inzhenernykh konstruksiy // V sbornike: Prochnost, polzuchest i razrusheniye stroitelnykh i mashinostroitelnykh materialov i konstruksiy trudy Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 55-letiyu RUDN*. 2014. S.239-243.
- [66]. Grigorshv S.M., Sapozhnikova A.I. *Dinamicheskiy analiz vliyaniya sobstvennykh i sobstvennykh soputstvuyushchikh kolebaniy na kharakter deformirovaniya vysotnogo zdaniya // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2010. №1(132). S.27-31.
- [67]. Johari H., Desabrais K. *Vortex shedding in the near wake of a parachute canopy // Journal of Fluid Mechanics*. 2005. Vol. 536. Pp. 185–207.
- [68]. Alekhin V.N., Antipin A.A., Gorodilov S.N., Bochkareva A.S., Merzlyakova Ye.V., Rezina Yu.V. *Modelirovaniye vozdeystviy vetra na vysotnyye zdaniya // International journal for computation civil and structural engineering*. 2008. №2. S.14-15.
- [69]. Makulov V.V., Kwartalnov S.V. *Vozdeystviye vetra na vysotnyye zdaniya // Elektronnyy nauchnyy zhurnal*. 2016. №5(8). S.527-530.
- [70]. Revzin G.I. *Obretneniye formy [elektronnyy resurs]*. Sistem. trebovaniya: Internet explorer. URL: http://www.projectclassica.ru/v_o/10_2004/10_2004_v_02a.htm (data obrashcheniya: 3.02.2016)
- [71]. Amin J.A., Ahuja A.K. *Aerodynamic modifications to the shape of the buildings: a review of the state-of-the-art // Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*. 2010. Vol.11. №.4. Pp.433-450.
- [72]. Olenkov V.D., Puzyrev P.I. *Modelirovaniye aerodinamicheskogo vozdeystviya na unikalnyye zdaniya // V sbornike: Stroitelstvo i ekologiya: teoriya, praktika, innovatsii Sbornik dokladov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2015. S.84-87.

- [73]. Eswara Kumar Bandi, Yukio Tamura, Akihito Yoshida, Yong Chul Kim, Qingshan Yang. Experimental investigation on aerodynamic characteristics of various triangular-section high-rise buildings // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2013. Pp.60-68.
- [74]. Isayev S. A., Sudakov A. G., Kharchenko V. B., Usachov A. Ye. Chislennoye modelirovaniye turbulentnykh otrivnykh techeniy v zadachakh vneshney aerodinamiki s pomoshchyu mnogoblochnykh vychislitelnykh tekhnologiy. Modeli i metody aerodinamiki // *Materialy Shestoy Mezhdunarodnoy shkoly-seminara, Yevpatoriya, 5–14 iyunya, 2006 g. M.: MTsNMO, 2006. 139 s.*
- [75]. Upravleniye obtekaniyem tel s vikhrevymi yacheykami v prilozhenii k letatelnyy apparatam integralnoy komponovki (chislennoye i fizicheskoye modelirovaniye). Pod red. A. V. Yermishina i S. A. Isayeva. M.: Izd-vo Moskovskogo un-ta, 2003. 360 s.
- [76]. Shilkrot Ye.O. Vozdushnyy rezhim zdaniy s proyemami v naruzhnykh ograzhdeniyakh, oborudovannykh vozdushnymi zavesami // *AVOK*. 2005. № 8.
- [77]. Gutnikov V.A., Lifanov I.K., Setukha A.V. O modelirovanii aerodinamiki zdaniy i sooruzheniy metodom zamknutykh vikhrevykh ramok // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Mekhanika zhidkosti i gaza*. 2006. №4. S.78-92.
- [78]. Sarana Ye.P., Sheynin V.I. Usovershenstvovaniye metodiki inzhenernogo rascheta osadok i krena fundamentnoy konstruksii vysohnogo zdaniya // *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2007. №6. S.2-7.
- [79]. Wilcox D. C. Turbulence modeling for CFD. Monreal. DCW Industries, Inc. 2006. 522 p.
- [80]. Yegorychev O.O., Churin P.S. Eksperimentalnoye issledovaniye vetrovykh nagruzok na vysohtnyye zdaniya // *Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2015. №6. S.20-22.
- [81]. Gotina D.N., Tkachenko Yu.G. Problemy proyektirovaniya vysohtnykh zdaniy // *Novyye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii FAD TOGU*. 2011. T.2. S.15-20.
- [82]. Doroshenko A.V. Programma otsenka aerodinamicheskoy komfortnosti v peshekhodnykh zonakh // *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. №5(76). S.100-103.
- [83]. Zubkov D.A., Kuznetsov V.V., Sergeyevtsev Ye.Yu. Opredeleniye dinamicheskikh kharakteristik v naturalnykh usloviyakh vysohnogo zdaniya staroy postroyki // *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*. 2011. №4. S.38-39.
- [84]. Feygina Ye.V. Konstruktivnyye osobennosti vysohtnykh zdaniy // *Arkhitektura i stroitelstvo Moskvy*. 2006. №4. 6 s.
- [85]. Tarabanov M. G. Opyt proyektirovaniya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha vysohtnykh zdaniy // *AVOK*. 2004. № 6.
- [86]. Malyavina Ye. G., Biryukov S. V., Dianov S. N. Vozdushnyy rezhim zhilykh zdaniy // *AVOK*. 2004. № 8.
- [87]. Jiming Xie. Aerodynamic optimization of super-tall buildings and its effectiveness assessment // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2014. Pp.88-98.
- [88]. Bolotov Ye.N. Vliyaniye organizatsii vozdukhoobmena na normiruyemye parametry vnutrennego vozdukha v vysohtnom zdanii // *Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2013. №6. S.28-31.
- [89]. Drozdova A.A. Poisk ratsionalnykh form vysohnogo zdaniya so vstroyennymi vetrogeneriruyushchimi ustanovkami // *Statya v sbornike trudov konferentsii. Stroitelstvo – formirovaniye sredey zhiznedeyatelnosti. M.: Izd-vo MISI - MGSU, 2015. S.204-207.*
- [90]. Dudkina Ye.Yu., Startseva N.A., Shershnev V.N. K voprosu obespecheniya mikroklimata zhilykh vysohtnykh zdaniy // *Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya*. 2010. №1. S.53-56.
- [91]. Gnyrya A.I., Korobkov S.V., Koshin A.A., Mokshin D.I., Terekhov V.I. Kompleksnyye eksperimentalnyye issledovaniya aerodinamiki i teploobmena modeley zdaniy i sooruzheniy // *Vestnik TGASU*. 2011. №4. S.113-126.
- [92]. Isaev S.A., Vatin N.I., Lebiga V.A., Zinoviev V.N., Keh-Chin Chang, Jiun-Jih Miao. Problems and methods of numerical and experimental investigation of high rise constructions' aerodynamics in the coastal region "sea-land" // *Magazine of Civil Engineering*. 2013. №2(37). Pp. 54-61.
- [93]. Kubenin A.S., Fedosova A.N. Chislennoye modelirovaniye aerodinamiki zhilogo kompleksa s prilgayushchey zastroykoy // *Nauchnoye obozreniye*. 2015. №8. S.136-141.
- [94]. Tokarev O.K., Korotkin A.I. Prikladnyye problemy aerodinamiki vysohtnykh zdaniy // *Trudy TsNII im. Akad. A.N.Krylova*. 2010. №53. S.131-138.
- [95]. Korganbayev B.N. Fizicheskaya model protsessa obtekaniya vozdushnym potokom odinochnykh sooruzheniy // *Nauka, novyye tekhnologii i innovatsii*. 2008. №1-2. S.210-213.
- [96]. Zorin R.N., Sturova M.M. Energoeffektivnost vysohnogo zdaniya na primere zdaniya «Kommertsbanka» // *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. Seriya: Vysokiye tekhnologii. Ekologiya*. 2015. №1. S.44-48.

- [97]. Doroshenko A.V. Programma otsenka aerodinamicheskoy komfortnosti v peshekhodnykh zonakh // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. №5(76). S.100-103.
- [98]. Poddayeva O.I., Dunichkin I.V. Raschetno-eksperimentalnyye issledovaniya vetrovykh vozdeystviy dlya zhilykh kompleksov v Moskve // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2016. №4. S.42-45.
- [99]. Nikolayev S.V. Rukovodstvo po vysotnym zdaniyam. M.: Izd-vo Moskva, 2006. 223 s.
- [100]. Viktorova L.A. Vysotnyye zdaniya – plyusy i minusy stroitelstva // Arkhitektura i stroitelstvo Rossii. 2012. №10. S.2-11.
- [101]. Tokarev O.K., Korotkin A.I. Prikladnyye problemy aerodinamiki vysotnykh zdaniy // Trudy TsNII im. akad. A.N. Krylova. 2010. №53. S.131-138.
- [102]. Poddayeva O.I., Buslayeva Yu.S., Gribach D.S. Eksperimentalnoye issledovaniye vetrovykh nagruzok na mnogofunktsionalnyy vysotnyy zhiloy kompleks // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2014. №6. S.58-62.
- [103]. Yevtushenko A.I., Danilevko I.Yu. Uchet aerodinamicheskikh kharakteristik vysotnykh zdaniy pri razrabotke proyektnoy dokumentatsii // V knige: Stroitelstvo i arkhitektura - 2015 materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. FGBOU VPO "Rostovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy universitet", Soyuz stroiteley yuzhnogo federalnogo okruga, Assotsiatsiya stroiteley Dona. 2015. S. 322-324.
- [104]. Kuznetsov S.G., Drozdov A.A. Vetrovyye nagruzki na krovlyu maloetazhnogo zdaniya pod vozdeystviyem vysotnogo zdaniya // Sovremennoye promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2010. №3. S.177-183.
- [105]. Zuyeva P.P. Vysotnoye zdaniye v gorodskoy srede // Statya v sbornike trudov konferentsii. 2014. S. 98-104.
- [106]. Kuznetsov V.V., Sergeyevtsev Ye.Yu., Zubkov D.A. Naturnyye dinamicheskiye issledovaniya vysotnogo zdaniya // Vestnik MGSU. 2011. №4. 238 s

Михайлова М.К., Далинчук В.С., Бушманова А.В., Доброгорская Л.В., Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №10 (49). С. 59-74

Mikhaylova M.K., Dalinchuk V.S., Bushmanova A.V., Dobrogorskaya L.V., Design, construction and operation of high-rise buildings, taking into account the aerodynamic aspects. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 10 (49), Pp. 59-74. (rus)