

Учет особенностей ветровых воздействий на здания и сооружения сложной формы

В статье анализируются основные особенности распределения ветровых воздействий на здания и сооружения сложной формы. Особое внимание уделено способам устранения негативных факторов влияния ветра.

Ключевые слова: строительство, ветровая нагрузка, высотные здания, воздушный поток, давление ветра, составляющие ветровой нагрузки.

Kogteva D. V.

Taking into account the main features of the distribution of wind impacts on buildings and structures of complex shape

The article analyzes the main features of the distribution of wind impacts on buildings and structures of complex shape. Special attention is paid to ways to eliminate the negative factors of wind influence.

Keywords: construction, wind load, high-rise buildings, air flow, wind pressure, components of wind load.



**Когтева
Дарья
Викторовна**

магистрант кафедры ПГС,
инженер, Уральский
федеральный
университет (УрФУ),
Екатеринбург, Российская
Федерация

e-mail: kdaryav@inbox.ru

Введение

В настоящий момент особое внимание уделяется проблемам и исследованиям распределения ветровых нагрузок и на здания выше 100 м, и на здания сложной формы. Их сложное распределение связано с движением воздушных потоков, которые, в свою очередь, оказывают влияние на каждом уровне здания, ведь с увеличением высоты скорость воздействия ветра возрастает [12].

Если обратить внимание на этот факт, можно понять актуальность досконального изучения ветровых воздействий на здания и сооружения, которое рассматривается в совокупности с выполненными расчетными исследованиями и многими другими видами научной деятельности. Ведь самый эффективный способ повышения надежности решений, принятых на стадии проекта, — верный учет всех вариантов возможных нагружений и различных воздействий на здание или сооружение [13].

При допущении ситуации, в которой все ветровые нагрузки принимались бы статичными, разработка проектов не порождала бы особых трудностей для конструктора-профессионала, ведь при таком развитии событий нагрузка от ветра возрастает предсказуемо. Но в реальной жизни воздух не огибает конструкцию по направляющим поверхности: образуется пертурбация, которая является причиной возникновения переменной стремительной боковой силы. Как следствие, при определенных значениях скорости ветра показатели силы растут скачкообразно. Итогом такого воздействия для расчетов становится невозможность оценки нагрузки при использовании нормативной литературы, что ведет за собой необходимость проведения исследований

и потребность в ответах на сложные вопросы аэродинамики.

Целью статьи является поиск подходов к расчетам ветровых нагрузок, обобщение и систематизация накопленной информации для дальнейшей работы над предложениями по решению задач, не регламентированных в действующих нормах. Предметом исследования являются основные причины, приводящие к необходимости расчета ветровых нагрузок с помощью программных комплексов, а также конструктивные особенности форм зданий, влияющие на аэродинамические потоки, и принципы возникновения давления при столкновении потока воздуха с препятствиями различной формы.

В настоящее время степень разработанности данной темы невелика ввиду того, что множество исследователей рассматривают отдельно результаты моделирования зданий в специальных расчетных комплексах и не уделяют достаточно внимания сравнению различных подходов, а также самому процессу моделирования и особенностям распределения ветровой нагрузки на здания и сооружения.

Особенности влияния ветровых воздействий на здания сложной формы

Для нахождения ветровых нагрузок на здание или сооружение в нормативно-технической литературе использованы стандартные расчетные формулы для конструкций простейших геометрических форм. Учитывая особенности распределения ветровой нагрузки, в первую очередь нужно обратить внимание на то, что статическая составляющая — средняя скорость ветра — увеличивает свое влияние с высотой. Степень ее влияния связана с осо-

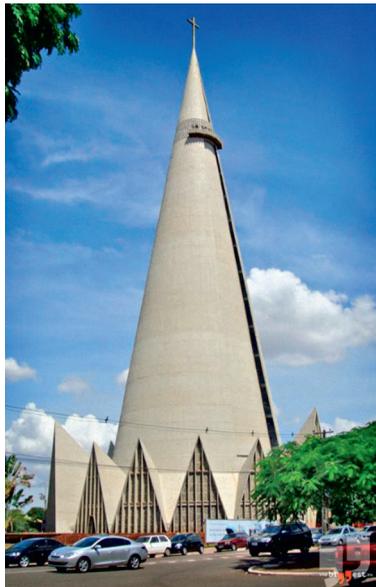


Иллюстрация 1. Малая базилика Славной Богоматери. Маринг, штат Парана, Бразилия. Арх. Жозе Аугусто Беллучи. 1972 г. Источник: <https://www.savoredjourneys.com/the-worlds-most-beautiful-cathedrals/>



Иллюстрация 2. Лахта-Центр. С.-Петербург, Россия. Арх.: Компания RMJM. 2021 г. Источник: <https://doseng.org/foto/115577-sankt-peterburg-nasnimkah-vitaliya-karpovicha.html>

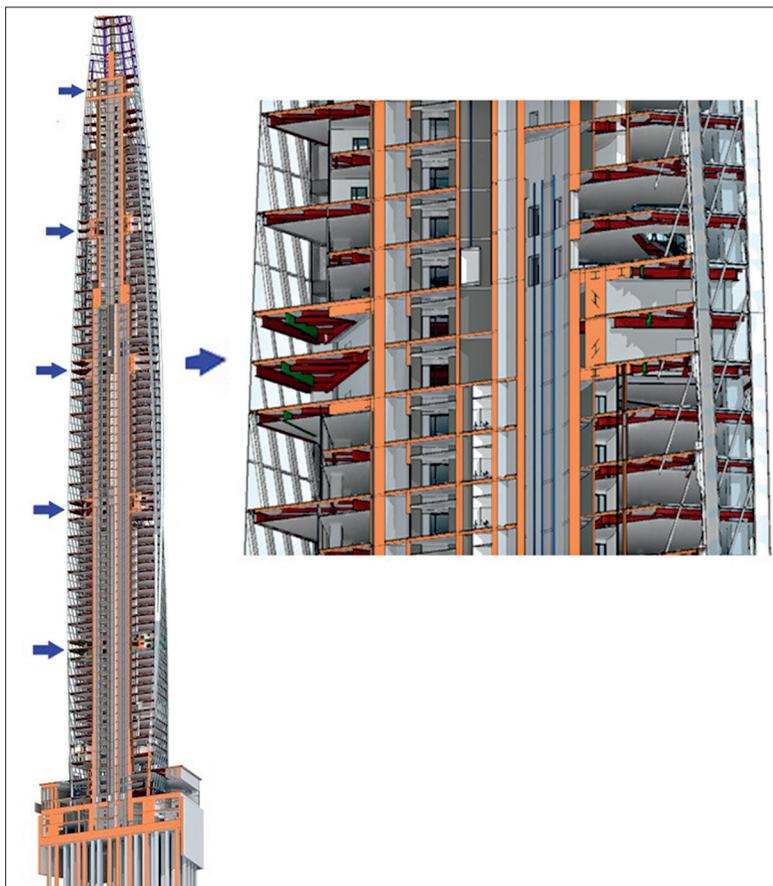


Иллюстрация 3. Схема расположения аутригерных уровней в «Лахта-Центр». С.-Петербург, Россия. Источник: <https://www.pvsm.ru/peterburg/218213/print/>

бенностями ландшафта местности, поскольку с уменьшением расстояния до земной поверхности из-за действия сил трения происходит затухание

ветра. При возникновении ветровых воздействий на две и более поверхности здания или сооружения могут возникнуть деформации в двух на-

правлениях. В связи с этим расчет зданий повышенной этажности на ветровые нагрузки стоит рассматривать в нескольких вариантах загрузки при варьирующихся аэродинамических коэффициентах с.

Во время выполнения расчета зданий повышенной этажности на воздействия ветра нельзя забывать о том, что при различных вариантах загрузки присутствуют и статическая, и динамическая составляющие ветровой нагрузки [13].

Способы устранения и минимизации негативных последствий влияния ветра

Аэродинамика высотного здания сложной формы не поддается описанию с помощью простых законов. Ввиду этого для каждого проекта разрабатывается индивидуальный подход к изучению ветровых воздействий на него. Федеральными строительными нормами Москвы и С.-Петербурга рекомендовано на стадии проекта воссоздавать модель сооружения и испытывать физическим путем в специализированной установке — аэродинамической трубе.

Отдельно стоящие высотные здания сильно изменяют влияние воздушных потоков на придомовые территории, что, в свою очередь, может привести к негативным явлениям. На уровне пешеходов, на верхних этажах здания могут появляться зоны, в которых возникает ветер повышенной скорости, избыточное давление, колебания низкой частоты и многое другое. Для того, чтобы свести негативное воздействие ветра к минимуму, архитекторы проектируют здания с овальными, округлыми формами, волнообразные, со скругленными углами. Практически доказано, что для зданий цилиндрической формы с увеличением высоты можно наблюдать снижение давления ветра, в то же время для зданий других форм наблюдается увеличение ветрового давления. Прекрасно воспринимают ветровые воздействия конусные и иглообразные формы зданий, а также здания пирамидальной формы, жесткость которых увеличивается на 10–50%.

Существенное снижение ветровых воздействий на здания повышенной этажности происходит при повышении их ветровой проницаемости. Добиться этого позволяет устройство проемов, предоставляющих возможность воздуху организованно пройти сквозь здание. В случаях, когда изменение формы здания нежелательно или невозможно, специалисты добиваются должного комфорта

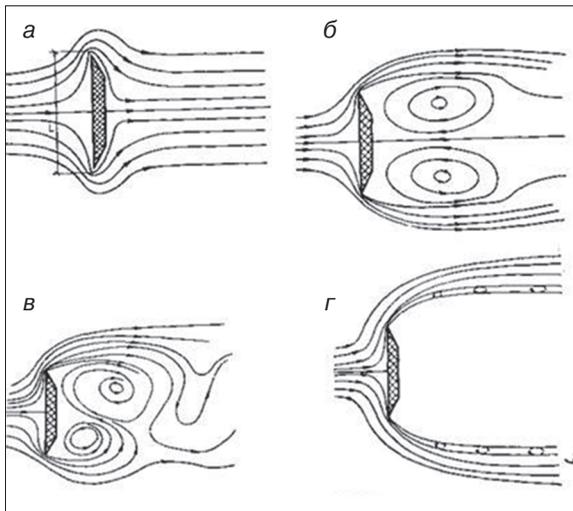


Иллюстрация 4. Обтекание пластины с острыми кромками:
а — $Re \approx 0,3$; б — $Re \approx 10$; в — $Re \approx 250$; г — $Re \approx 1000$.
Источник: <https://mash-xxl.info/pics/481033/>

и безопасности здания за счет использования массивных демпферов.

Еще один эффективный способ увеличения сопротивления зданий повышенной этажности ветровым воздействиям — устройство аутригерных поясов. Аутригеры — это массивные конструкции, в основном выполненные из металла, опоясывающие высотное здание, установка которых позволяет равномерно распределить нагрузку на ядро и колонны каркаса и другими несущими конструкциями.

Проектирование конструкции аутригера для каждого здания производится индивидуально, с учетом тех функций, которые необходимо повысить за счет этой конструкции. Например, изгибная жесткость здания, сопротивление прогрессирующему обрушению в случае отказа отдельной конструкции, устойчивость к воздействиям ветра. Такие конструкции должны быть установлены через несколько этажей [1].

Аэродинамика плохообтекаемых тел

Локальная пристеночная турбулентность, которая, в свою очередь вызвана самим сооружением, а также степень турбулентности воздуха, навываемого на здание, и средняя скорость ветра — те параметры, которые для инженера-строителя представляют особый интерес.

У каждого здания, обтекаемого ветром, существуют наветренная и подветренная стороны. Наветренная сторона воспринимает до 80% ветровой нагрузки, подветренная сторона — около 60%. С увеличением радиуса вихря скорость локально возрастает вблизи центра, тогда как теоретически она должна уменьшаться.

На воздушный поток в наибольшей степени влияют вязкость и инерция. Соотношение этих двух сил между собой выражается безразмерным параметром — числом Рейнольдса. Когда число имеет большое значение, это говорит о том, что в процессе приоритетно влияние инерционных сил. Если его значение невелико, то это говорит о преобладающем влиянии вязкости.

Возникающие при обтекании плохообтекаемого тела положительные градиенты давления могут привести к отрыву воздушного потока. Некоторые аспекты этого процесса не исследованы до конца, но известно, что в нем образуются дискретные вихри, которые распространяются в спутной струе плохообтекаемого тела. Результат таких переносов характеризует особая вели-

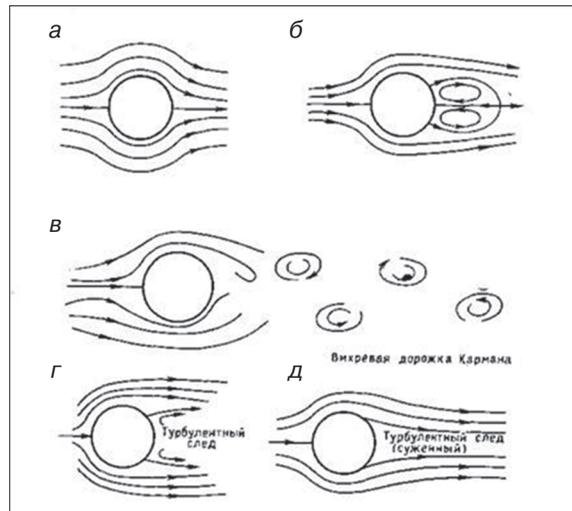


Иллюстрация 5. Обтекание кругового цилиндра:
а — $Re \approx 1$; б — $Re \approx 20$; в — $30 \leq Re \leq 5000$; г — $5000 \leq Re \leq 200 000$;
д — $Re \geq 200 000$ [9]

чина — динамический коэффициент вязкости. Весомые переносы количества движения, которые характеризуют кинематическую вязкость, непосредственно связанные с атмосферными течениями, можно также определить с помощью турбулентной вязкости.

Поток можно представить как двумерную (плоскую) модель, не зависящую от координат, нормальных к рассматриваемой плоскости. Для наглядности рассмотрим плоский поток, обтекающий пластину с кромками (Иллюстрация 4).

При малых значениях числа Рейнольдса поток обтекает острые углы и безотрывно следует вдоль передней и тыльной стороны контура пластины. При небольших увеличениях числа Рейнольдса при росте только скорости течения возникает срыв струй потока по ее углам, а позади пластины образуются два крупных вихря, симметричных друг другу. При увеличении числа Рейнольдса в пределах 1 000 и более на первый план влияния попадают инерционные силы. Создание крупных обособленных вихрей маловероятно. Вместо них образуется спутная турбулентная струя. Безотрывное ламинарное обтекание цилиндра сохраняется перед точкой отрыва при увеличении значения числа Рейнольдса до 200 000.

Если рассмотреть обтекание прямоугольных и квадратных призм, становится понятно, что при выборе тела с квадратным поперечным сечением при больших значениях числа Рейнольдса возникает отрыв потока, сопровождаемый широкой турбулентной спутной струей. А при прямоугольном поперечном сечении призмы отрыв потока может происходить в передних углах. За ним вниз по течению последует восстановление безотрывного обтекания и последующий отрыв потока на задней кромке. Ясно, что на спутную струю влияет не только форма, лобовая поверхность тела, но и такая важнейшая характеристика, как длина тела в направлении течения. Равнодействующую силу и момент можно получить посредством интегрирования давления на поверхности тела.

При обтекании цилиндра круглого поперечного сечения наблюдаются процессы, представленные на Иллюстрации 5.

Зависимость от числа Рейнольдса может определять-ся как изменение среднего значения его коэффициента лобового сопротивления. Возникает резкое уменьшение значений коэффициента лобового сопротивления, определяющихся числом Рейнольдса в интервале от 400 000

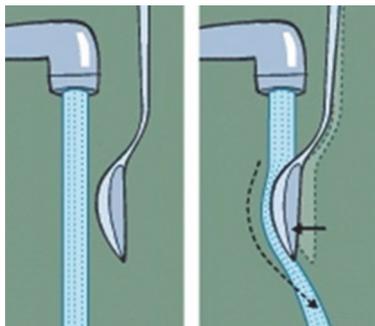


Иллюстрация 6. Эффект Коанда.
Источник: <https://aviation-fan.club.com/images/aktuality/spolecne/effect-coanda-on-a-spoon.jpg>

до 600 000. При последующем увеличении числа Рейнольдса в области после критического значения коэффициент еще увеличивается, но остается ниже его значений в области до критического значения. Лобовое сопротивление не изменяется при изменении значения числа Рейнольдса только в случае с квадратным сечением с углами малого радиуса кривизны.

Ввиду наличия подобных явлений при испытании моделей в аэродинамической трубе некоторое количество характеристик потока не будут зависеть от числа Рейнольдса. Одновременно с этим некоторые особенности течения потока, нечувствительные к числу Рейнольдса, могут вполне возникнуть в практических опытах, в которых отрыв потока будет происходить в одних и тех же установленных точках.

Различные виды форм, такие как круговые цилиндры, обладают обширными областями, в которых может происходить отрыв потока и в которых положение точек зависит от числа Рейнольдса. Во время обтекания такого тела вся структурная составляющая будет чувствительна к параметрам, определяемым числом Рейнольдса. Если значение числа Рейнольдса мало, то при увеличении вязкости значительно увеличивается коэффициент лобового сопротивления. Большое количество потоков — трехмерны, причиной этого является их контакт с границами.

Практически доказано, что пульсационные явления, включающие срыв вихря, не могут равномерно распределяться по длине тела, имеющего цилиндрическую форму, даже при условии, что поток будет иметь постоянную среднюю скорость, а тело обладает постоянным поперечным сечением. В реальности все средние параметры, рассматриваемые с наветренных сторон гибких высоких зданий и сооружений, неодно-

родны. В пограничном слое средняя скорость потока увеличивается с высотой. Немаловажно, что некоторые высотные сооружения имеют переменные по высоте размерные характеристики.

Главная задача — обтекание ветром зданий — предполагает наличие пространственного течения, которое невозможно зафиксировать двумерными моделями. Например, в модели объекта, помещенной в воздушный поток, перед которой расположено более низкое здание, возникает вихрь между зданиями. Воздух, который проходит через сквозной проход в нижней части в уровне первого этажа, отклоняется вблизи наветренной стороны. В первую очередь в данной ситуации следует обеспечить расчет элементов с точки зрения экономичности и надежности, воспринимающих ветровые нагрузки. Нужно задавать как можно более реалистичные значения нагрузок [4, 8, 9].

Разные аспекты этой деятельности прорабатываются в настоящее время специалистами. Так, важность учета аэродинамических характеристик зданий с точки зрения безопасности обоснована в [6]. Автор определяет основные аспекты аэродинамики для зданий различных форм, выполняет задачи по определению факторов, влияющих на изменения в аэродинамике конкретного объекта. В [5] большое внимание уделяется проблемам взаимодействия здания с потоком, современным аспектам аэродинамики зданий, предложены потенциально эффективные способы перераспределения и стабилизации потоков ветра. В [7] определено, что при проектировании зданий в застройке могут возникнуть серьезные аэродинамические нагрузки, недопустимо высокие скорости ветра, приводящие к разрушению конструкций. В [2] даны результаты исследований динамических характеристик в непосредственной близости от моделей здания, проанализированы изменения рассматриваемых параметров и произведено сравнение итоговых данных с другими экспериментами. В [10] рассмотрены пути снижения ветровых нагрузок и обеспечения устойчивости и безопасной эксплуатации зданий, проанализированы основные особенности выбора форм зданий и сооружений, приведен обзор конструктивных решений зданий спиралевидной формы. Расчет ветровых пульсаций с учетом высоты здания и атмосферного давления при определении ветровой нагрузки дан в [3], а в [11] и [14] проведен анализ сложных геометрических форм

фасадов зданий, влияющих на ветровые нагрузки. Работы показывают, что понимание характера обтекания — главная задача аэродинамики строительных объектов.

Особое внимание нужно обратить на эффект Коанда, связанный с тем, что при вытекании струи газа или воды из сопла она стремится отклониться от вертикали к положению по направлению к стенке и при определенных условиях начинает «прилипать» к ней. Особенностью применения этого эффекта в строительстве является возможность манипулировать потоками и характеристиками воздушных масс, что, в свою очередь, положительно скажется на аэрационном режиме придомовой территории, позволит рационально использовать энергию ветра.

Заключение

В настоящее время существуют методики численного моделирования ветровых воздействий, позволяющие выводить результаты в процессе решения сложных задач строительной аэродинамики. Построение модели и ее непосредственное продувание в специализированной установке — аэродинамической трубе — наилучший способ для воссоздания ветровых воздействий на высотные здания и здания сложной формы.

Посредством изменения формы здания или его отдельных частей на геометрических моделях можно добиться заметных результатов в снижении ветровых воздействий на здание.

Учет ветровых воздействий важен при рассмотрении пешеходной комфортности. Для наилучшего регулирования воздействий необходимо предусматривать мероприятия по защите людей от ветра. Однако большинство мероприятий еще не способны стать полноценной альтернативой методам моделирования в специализированных аэродинамических установках и традиционным методикам. Наиболее целесообразным в настоящее время является сочетание в проектной практике преимуществ расчетного (компьютерное моделирование) и экспериментального подходов в пределах одного проекта.

Автоматизация процессов строительного проектирования и информационное моделирование — одна из важнейших задач современного развития отрасли. При разработке необходимо создание физических прототипов и проведение испытаний продукта, однако это всегда очень дорогой, а главное, длительный процесс, разрабатываемый объект

должен быть изготовлен, должен быть поставлен эксперимент, проанализирован, обработаны его результаты, и так для множества систем и объектов. Именно поэтому любой разработчик пытается уменьшить число натурных испытаний, а это, в свою очередь, удешевляет, а главное, ускоряет процесс создания конечной модели. Переход на численные методы проведения испытаний значительно влияет на стоимость конечного продукта, обеспечивает полноценный анализ параметров и явлений, необходимый и достаточный для дальнейших расчетов.

Список использованной литературы

- [1] Варибрус Д. С., Наконечная А. С. Воздействие ветровой нагрузки на высотные здания и меры, уменьшающие ее воздействие // *Инновационная наука*. — 2020. — № 12. — С. 174–176.
- [2] Глухов И. О., Гасилина С. П., Варламова Т. В. Проблемы устойчивости высотных зданий при действии ветровых нагрузок // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. — 2020. — № 5 (44). — С. 359–363.
- [3] Горохов Е. В., Васылев В. Н., Лозинский Э. А. и др. Особенности обтекания ветровым потоком тел вращения в строительной аэродинамике // *Металлические конструкции*. — 2015. — Т. 21. — № 2. — С. 99–106.
- [4] Гувернюк С. В., Синявин А. А., Гагарин В. Г. Метод экспресс-оценки интегральных ветровых нагрузок на высотное здание // *Жилищное строительство*. — 2019. — № 6. — С. 43–48.
- [5] Гузеев А. С., Короткин А. И., Лебедев А. О. и др. Анализ некоторых результатов по определению аэродинамических характеристик высотных зданий // *Инженерно-строительный журнал*. — 2009. — № 3. — С. 50–52.
- [6] Казакевич М. И. Актуальные проблемы аэродинамики // *Металлические конструкции*. — 2007. — Т. 13. — № 3. — С. 151–161.
- [7] Кошкин А. А. Анализ динамического воздействия воздушного потока на тандем модели высотных зданий // *Вестн. Томск. гос. арх.-строит. ун-та*. — 2014. — № 2 (43). — С. 134–141.
- [8] 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.
- [9] Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения / пер. с англ. Б. Е. Маслова, А. В. Швецовой; под ред. Б. Е. Маслова. — М.: Стройиздат, 1984. — 360 с.
- [10] Сојту Н. Ю. Влияние ветровых нагрузок на проектирование высотных зданий // *Modern Science*. — 2020. — № 2–1. — С. 393–396.
- [11] Стариков Н. В., Дегтярев Г. В. Методика расчета ветровых нагрузок для зданий со сложной геометрией // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам X Всерос. конф. молодых ученых (29–30 ноября 2016 г.) / отв. за вып. А. Г. Кошаев*. — Краснодар: КубГАУ, 2017. — С. 1156–1157. — URL: https://kubsau.ru/upload/science/pvk_munoark2016-x.pdf (дата обращения: 15.03.2021).
- [12] Труфанова Е. В., Осадчий А. С. Анализ ветровых воздействий на здания сложной формы // *Молодой исследователь Дона*. — 2018. — № 6 (15). — С. 67–74.
- [13] Хомяков И. П. Ветровые воздействия на высотные здания // *Аллея Науки (науч.-практ.*

электрон. журнал) — 2018. — № 5 (21). — С. 56–62. — URL: https://alley-science.ru/domains_data/files/1478MAY2018/VETROVYE%20VOZDEYSTVIYa%20NA%20VYSOTNYE%20ZDANIYa.pdf (дата обращения: 15.03.2022).

- [14] Montazeri H., Blocken B. CFD simulation of wind-included pressure coefficients on buildings with and without balconies: Validation and sensitivity analysis // *Building and Environment*. — 2013. — Vol. 60. — P. 137–149.
- [15] Poddaeva O. I., Fedosova A. N., Churin P. S., Gribach J. S. Conducting experimental investigation of wind influence on highrise construction // *E3S Web of Conference*. — 2018. — Vol. 33. — P. 1–6. — DOI: 10.1051/e3sconf/20183302067.
- [16] Yi Liu, Gregory A. Kopp, Shui-fu Chen Effects of plan dimensions on gust wind loads for highrise buildings // *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. — 2019. — Vol. 194. — P. 1–34. — DOI: 10.1016/j.jweia.2019.103980.

References

- [1] Variibus D. S., Nakonechnaya A. S. Vozdejstvie vetrovoj nagruzki na vysotnye zdaniya i mery, umen'shayushchie ee vozdejstvie // *Innovacionnaya nauka*. — 2020. — № 12. — С. 174–176.
- [2] Gluhov I. O., Gasilina S. P., Varlamova T. V. Problemy ustojchivosti vysotnyh zdaniy pri dejstvii vetrovyh nagruzok // *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. — 2020. — № 5 (44). — С. 359–363.
- [3] Gorohov E. V., Vasylev V. N., Lozinskij E. A. i dr. Osobennosti obtekaniya vetrovym potokom tel vrashcheniya v stroitel'noj aerodinamike // *Metallicheskie konstrukcii*. — 2015. — Т. 21. — № 2. — С. 99–106.
- [4] Guvernyuk S. V., Sinyavin A. A., Gagarin V. G. Metod ekspress-ocenki integral'nyh vetrovyh nagruzok na vysotnoe zdanie // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. — 2019. — № 6. — С. 43–48.
- [5] Guzeev A. S., Korotkin A. I., Lebedev A. O. i dr. Analiz nekotoryh rezul'tatov po opredeleniyu aerodinamicheskikh harakteristik vysotnyh zdaniy // *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. — 2009. — № 3. — С. 50–52.
- [6] Kazakevich M. I. Aktual'nye problemy aerodinamiki // *Metallicheskie konstrukcii*. — 2007. — Т. 13. — № 3. — С. 151–161.
- [7] Koshkin A. A. Analiz dinamicheskogo vozdejstviya vozdušnogo potoka na tandem modeli vysotnyh zdaniy // *Vestn. Tomsk. gos. arh.-stroit. un-ta*. — 2014. — № 2 (43). — С. 134–141.
- [8] Mihajlova M. K., Dalinchuk V. S., Bushmanova A. V., Dobrogorskaya L. V. Proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya vysotnyh zdaniy s uchetom aerodinamicheskikh aspektov // *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*. — 2016. — № 10 (49). — С. 59–74.
- [9] Cimiу E., Skanlan R. Vozdejstvie vetra na zdaniya i sooruzheniya / per. s angl. B. E. Maslova, A. V. Shvecovoj; pod red. B. E. Maslova. — М.: Strojizdat, 1984. — 360 s.
- [10] Sojtu N. Yu. Vliyanie vetrovyh nagruzok na konstruirovaniye vysotnyh zdaniy // *Modern Science*. — 2020. — № 2–1. — С. 393–396.
- [11] Starikov N. V., Degtyarev G. V. Metodika rascheta vetrovyh nagruzok dlya zdaniy so slozhnoj geometrijej // *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sb. st. po materialam X Vseros. konf.*

- molodyh uchenyh (29–30 noyabrya 2016 g.) / otv. za vyp. A.G. Koshchaev. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – S. 1156–1157. – URL: <https://kubsau.ru/upload/science/pvkmunoapk2016-x.pdf> (data obrashcheniya: 15.03.2021).
- [12] Trufanova E.V., Osadchij A.S. Analiz vetrovyh vozdeystvij na zdaniya slozhnoj formy // Molodoy issledovatel' Dona. – 2018. – № 6 (15). – S. 67–74.
- [13] Homyakov I.P. Vetrovye vozdeystviya na vysotnye zdaniya // Alleya Nauki (nauch.-prakt. elektron. zhurnal) – 2018. – № 5 (21). – S. 56–62. – URL: https://alley-science.ru/domains_data/files/1478MAY2018/VETROVYE%20VOZDEYSTVIYa%20NA%20VYSOTNYYE%20ZDANIYa.pdf (data obrashcheniya: 15.03.2022).
- [14] Montazeri H., Blocken B. CFD simulation of wind-included pressure coefficients on buildings with and without balconies: Validation and sensitivity analysis // Building and Environment. – 2013. – Vol. 60. – P. 137–149.
- [15] Poddaeva O.I., Fedosova A.N., Churin P.S., Gribach J.S. Conducting experimental investigation of wind influence on highrise construction // E3S Web of Confrence. – 2018. – Vol. 33. – P. 1–6. – DOI: 10.1051/e3sconf/20183302067.
- [16] Yi Liu, Gregory A. Kopp, Shui-fu Chen Effects of plan dimensions on gust wind loads for highrise buildings // J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2019. – Vol. 194. – P. 1–34. – DOI: 10.1016/j.jweia.2019.103980.

Статья поступила в редакцию 14.04.2022.

Опубликована 30.06.2022.

Kogteva Darya

Master's student of the Department of Industrial and Civil Engineering, Engineer, Institute of construction and architecture, Ural Federal University (UrFU),

Yekaterinburg, Russian Federation

e-mail: kdaryav@inbox.ru

ORCID ID: 0000-0002-9367-2441