



i ustoychivosti kompozitnykh stalezhelezobetonnykh elementov s sovmestnym primeneniem sterzhnevnykh i tverdotelnykh raschyotnykh modeley [Estimation of Strength and Stability of Composite Steel-Reinforced Concrete Elements with Joint Use of Rod and Solid-State Calculation Models] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2021. – № 3. – P. 9–16.

9. Boyd P. F., Cofer W. F., McLean D. I. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading // Journal of ACI. – 1995. – Vol. 92, № 3. – P. 353–364.

10. Morino S., Tsuba K. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan // Earthquake and Engineering Seismology. – 2005. – № 1. Vol. 4. – P. 51–73.

11. Cai S.-H. (2003). Modern Street Tube Confined Concrete Structures. // Communication Press China. – 2003. – 358 p.

12. Mesnager A., Barthes F., Vevrier I. Le pont des Ibis, an vesinet (seine-et-oise). // Le Genie Civil – 1931 – N. 2527/3.

13. 1. SP 266.1325800.2016. Konstruktsii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya (s Izmeneniyem N 1, s Popravkoy) [Steel-reinforced concrete structures. Design rules]. – Moscow: Minstroy Rossii, – 2016. – 80 p.

14. Ispytaniya trubobetonnykh obraztsov na prochnost [Strength testing of steel tube confined concrete samples]. – URL: <https://youtu.be/SxxQ3Ir5i54> (data obrascheniya 09.06.2022) – Videozapis.

© П. А. Хазов, В. И. Ерофеев, Д. М. Лобов, А. К. Ситникова, А. П. Помазов, 2022
Получено: 20.06.2022 г.

УДК 624.042.41

А. А. САТАНОВ, аспирант¹; **М. Л. ПОЗДЕЕВ**², студент; **А. В. СИМОНОВ**², студент; **А. П. ПОМАЗОВ**², студент; **П. А. ХАЗОВ**², канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НА ВЫСОТНОЕ ЗДАНИЕ

¹Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76, +7 (910)-133-38-66; эл. почта: andrewsatanov@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96, +7 (908)-756-24-56; эл. почта: maksim.leon.pz@yandex.ru

Ключевые слова: высотное здание, ветрогенератор, модель здания, аэродинамическая установка, аэродинамический эксперимент, аэродинамический коэффициент, сброс ветрового давления, ветровая нагрузка.

Выполнен анализ распределения давлений от ветровых потоков на поверхность высотного здания с проемами для установки ветрогенераторов. Модельный эксперимент в аэродинамической трубе показал, что результаты предварительной приближенной оценки нормативными методами имеют достаточную сходимость, но не учитывают ряд факторов, таких как резкое уменьшение ветрового отсоса на задней поверхности и уменьшение аэродинамических коэффициентов по высоте здания, особенно в арочной части.



Инженерные исследования ветровых воздействий в настоящее время являются быстроразвивающейся областью прикладных наук, ставящей перед собой задачу разработки и совершенствования методов учета ветровых нагрузок на здания и сооружения. В ряде случаев эта задача требует особого внимания, поскольку проектируемые объекты часто имеют уникальные с точки зрения аэродинамики архитектурные формы.

Современные высотные здания по сравнению с построенными ранее отличаются исключительной гибкостью, легкостью и зачастую обладают слабыми демпфирующими свойствами. Такие сооружения, как правило, характеризуются повышенной чувствительностью к воздействию ветра. Для объектов, высота которых многократно превосходит поперечные в плане размеры, ветровая нагрузка является основной. При расчете на прочность и деформативность возникает необходимость оценки ветровых воздействий с большей степенью точности, чем это требовалось ранее [1–6].

В настоящее время опубликовано большое число работ, авторы которых стремились к корректному математическому описанию ветровых воздействий и разработки соответствующих инженерных методов расчета [7–11]. Однако до сих пор существующие стандартные методики расчета не отражают в достаточной мере действительную картину распределения ветровой нагрузки по поверхности сложной кривизны, так как не способны учесть влияние аэродинамической интерференции, завихренности, резонансных возбуждений и иных факторов [12–18].

Чтобы проанализировать воздействие вышеуказанных явлений на объекты, отличающиеся нестандартными формами и габаритами, в соответствии с действующими нормативными документами [1] предусматривается определение аэродинамических коэффициентов по результатам анализа математической (численной) модели или физического эксперимента в аэродинамической трубе.

Оба этих метода позволяют определить аэродинамические параметры зданий и сооружений сложной формы. Однако проведение эксперимента при осуществлении проектных работ требует дополнительных трудозатрат, что приводит к увеличению сроков и стоимости проекта, значительно повышает трудоемкость при выполнении расчетов. В связи с этим инженеры-проектировщики в большинстве случаев предпочитают для оценки ветровых воздействий использовать аэродинамические коэффициенты, предварительно рассчитанные в действующем своде правил для схемы, близкой по габаритам и форме к проектируемой.

Таким образом, возникает вопрос об оправданности подобного упрощения и возможности применения существующих нормативных методик для определения аэродинамических коэффициентов уникальных зданий и сооружений.

В качестве объекта исследования в настоящей работе рассматривается проектируемое 67-этажное высотное уникальное здание с ветрогенераторами в городе Новороссийске высотой 304,7 м (рис. 1, рис. 1 цв. вклейки). Габаритные размеры надземной части здания в плане $87,4 \times 27,0$ метров. Форма здания имеет воронкообразное очертание в плане для эффективного вовлечения потоков воздуха к ветрогенераторам и их стабилизации для уменьшения усталостных нагрузок на лопасти турбин [19]. Ориентация здания выбрана с учетом преобладающего направления ветра для повышения выходной мощности турбин [20].

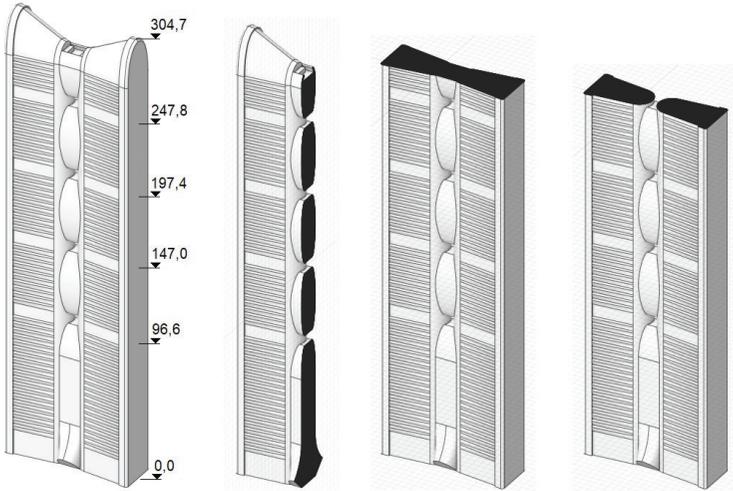


Рис. 1. Объемная модель внешней оболочки проектируемого здания и его характерные сечения

Здание нельзя строго отнести ни к одной геометрической схеме, описывающей распределение аэродинамических коэффициентов по приложению В [1], поэтому необходимо прибегать к математическим или экспериментальным методам.

Для проведения исследований в аэродинамической трубе был разработан макет в масштабе 1:800, выполненный методом послойного наплавления (*FDM*) из *ABS*-пластика на 3*D*-принтере (рис. 2). В характерных точках модели выполнена система дренажных отверстий для подключения гибких трубок (рис. 2 цв. вклейки) и последующего измерения давления на поверхности модели.

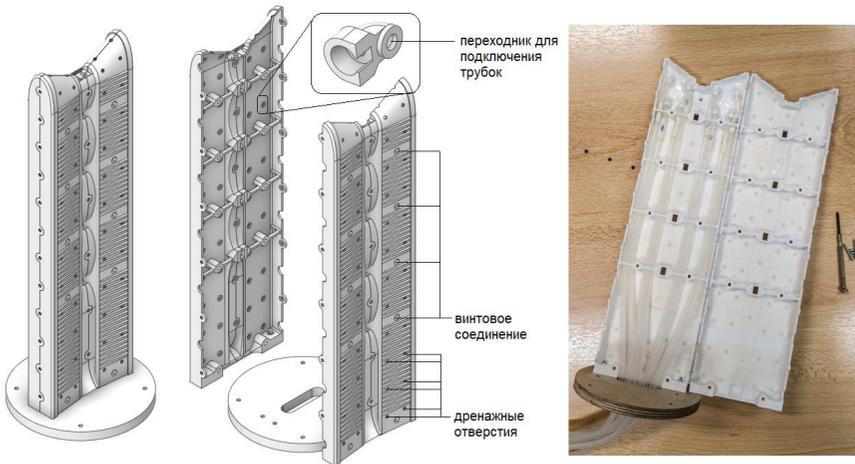


Рис. 2. Экспериментальная модель здания

**К СТАТЬЕ А. А. САТАНОВА, М. Л. ПОЗДЕЕВА, А. В. СИМОНОВА,
П. А. ХАЗОВА, А. П. ПОМАЗОВА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ НА ВЫСОТНОЕ ЗДАНИЕ»**

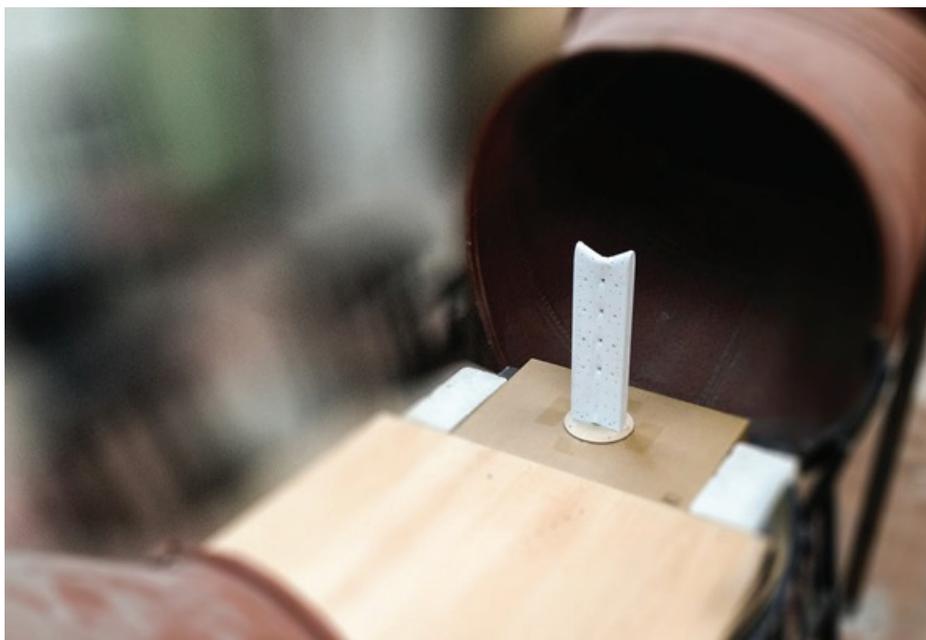


Рис. 1. Макет здания в аэродинамической трубе

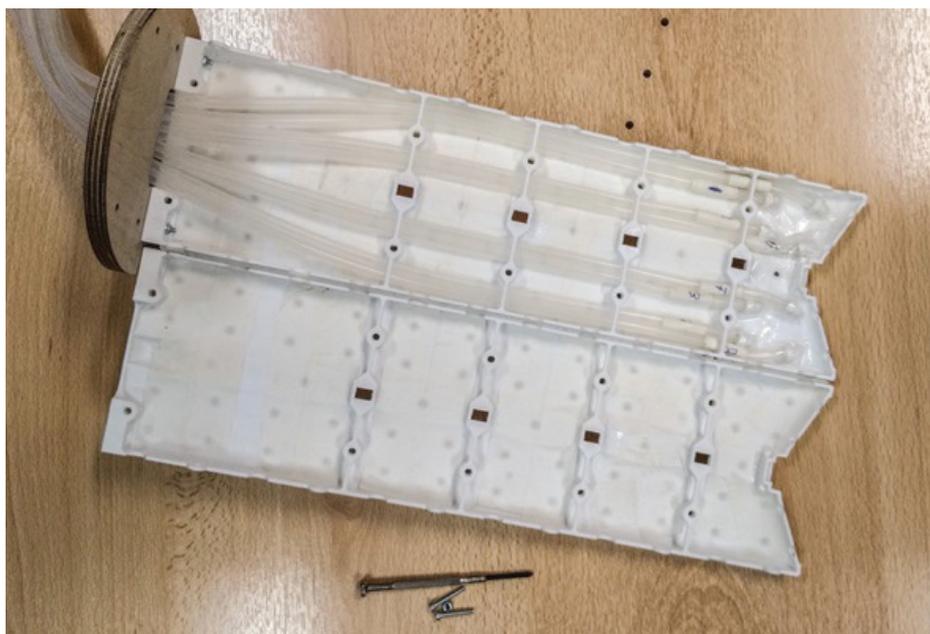


Рис. 2. Размещение дренирующих трубок в макете

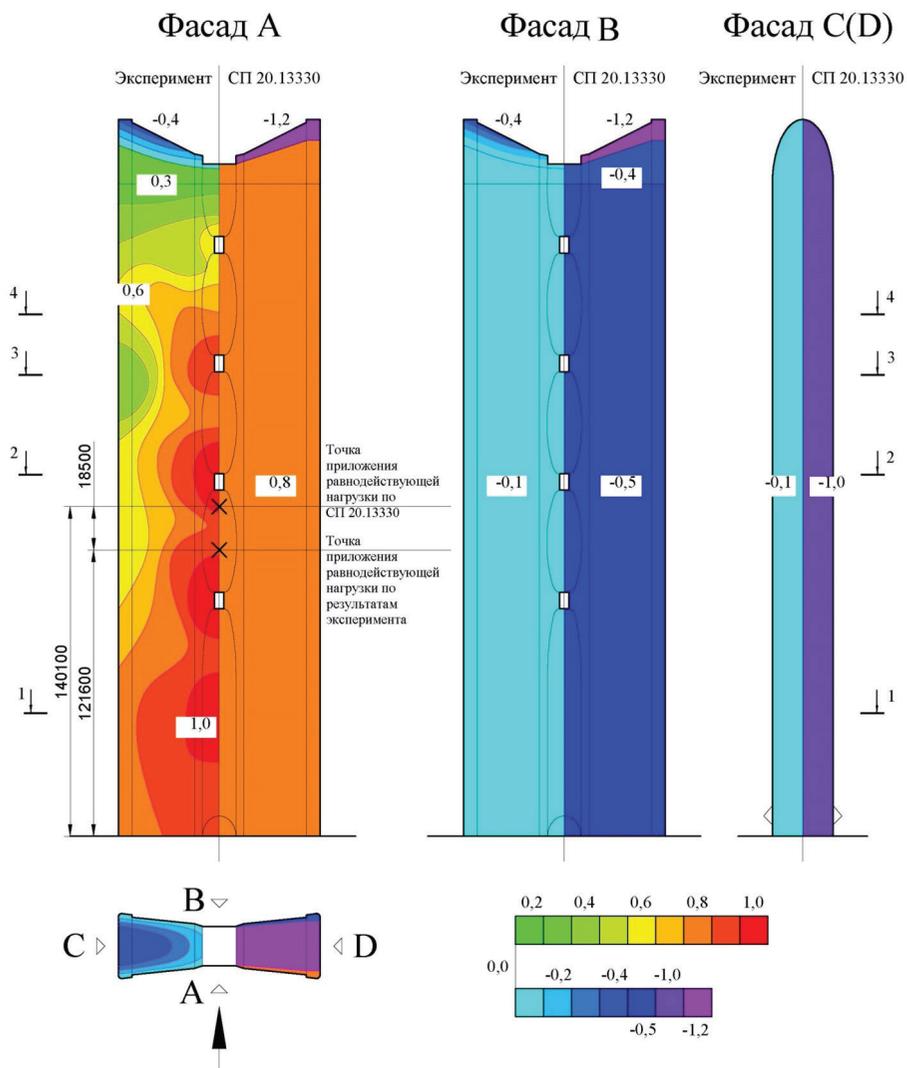


Рис. 3. Изополя распределения аэродинамических коэффициентов по результатам эксперимента и согласно данным СП 20.13330.2016 для эквивалентного по внешним габаритам прямоугольного здания 87,4×27,0×277,2 м и арочного покрытия эквивалентного размера в плане 87,4×27,0 м с переменной стрелой подъема 27,3–12,6 м

Эксперимент выполнялся в аэродинамической трубе лаборатории кафедры отопления и вентиляции ННГАСУ (рис. 1 цв. вклейки). Модель располагалась внутри установки (рис. 3), где создавался равномерный поток воздуха скоростью 12 м/с. Измерение скорости ветрового потока производилось чашечным анемометром МС-13 У1.1 ГОСТ 6376-74, статического давления на поверхности модели – микроманометром ММН-240(5)-1,0ТУ 25-01-816-79. Эксперимент проводился для направления ветра, действующего перпендикулярно главному фасаду здания (фасад А на рис. 3 цв. вклейки).

После преобразований показаний микроманометра вычислялись значения аэродинамических коэффициентов по формуле:

$$c_e = p_{\text{пов}} / p_0, \quad (1)$$

где $p_{\text{пов}}$ – давление, измеренное в изучаемой точке поверхности; p_0 – динамическое давление, оказываемое ветровым потоком на вертикальную поверхность.

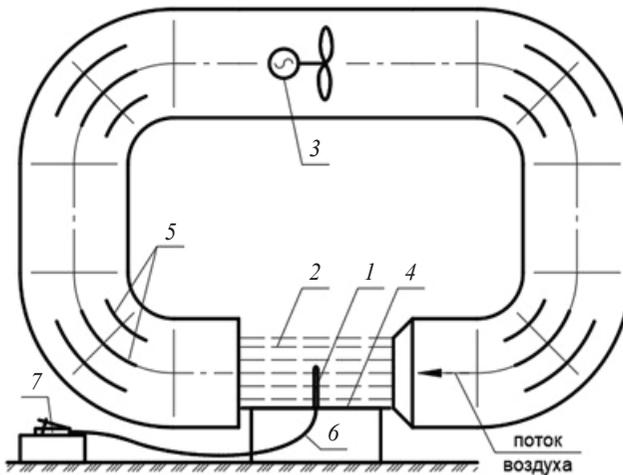


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – исследуемая модель объекта; 2 – рабочая область аэродинамической трубы; 3 – аэродинамическая труба с осевым вентилятором; 4 – подставка под модель здания; 5 – направляющие ребра; 6 – гибкая трубка; 7 – микроманометр

Значения аэродинамических коэффициентов, полученные при проведении эксперимента, представлены на рис. 3 цв. вклейки.

Также были рассмотрены значения аэродинамических коэффициентов, представленные в приложении В [1] как для эквивалентного по внешним габаритам прямоугольного здания 87,4×27,0×277,2 м (п. В.1.2 «Прямоугольные в плане здания с двускатными покрытиями» [1]) и арочного покрытия эквивалентного размера в плане 87,4×27,0 м с переменной стрелой подъема 27,3–12,6 м (п. В.1.3 «Прямоугольные в плане здания со сводчатыми и близкими к ним по очертанию покрытиями» [1]).

На рис. 4 показаны эпюры нормативных ветровых давлений в характерных сечениях на высотах 55, 155, 195 и 225 метров, вычисленные согласно [1]. Увеличение давлений к середине сечения может быть обусловлено формой здания, способствующей «сгущению» ветровых потоков к центральной оси здания. Численный анализ ветровых потоков представлен в исследованиях [19, 20].

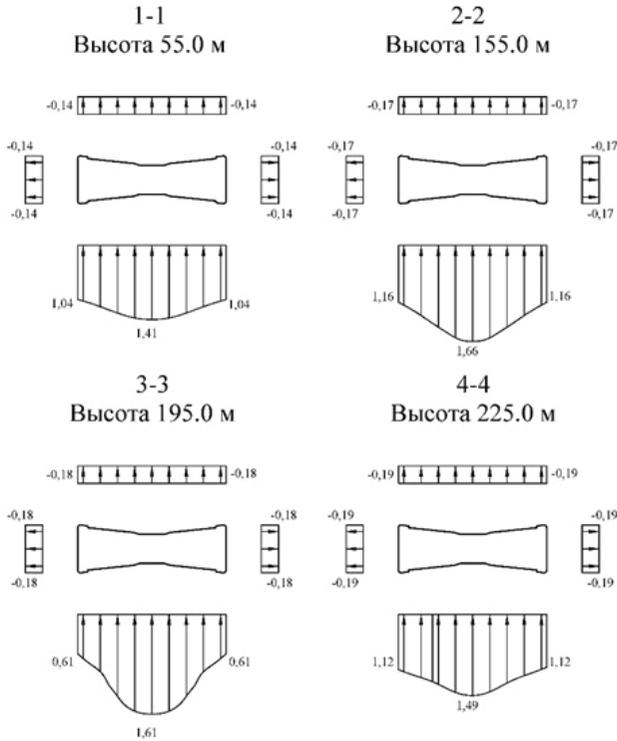


Рис. 4. Эпюры нормативных ветровых давлений в характерных сечениях здания (места расположения сечений показаны на рис. 3 цв. вклейки)

В результате анализа полученных экспериментально аэродинамических коэффициентов можно сделать следующие выводы:

1) Осредненное по площади значение аэродинамического коэффициента для наветренной части здания составляет 0,76 и соответствует значению 0,8, представленному в нормативных документах [1]. Однако его распределение, в связи с наличием сквозных проемов в верхней части здания, неравномерно по высоте и изменяется от 1,0 до 0,3, из-за чего точка приложения равнодействующей нагрузки смещается ниже и, соответственно, создаваемый опрокидывающий момент в основании здания уменьшается.

2) Локальное увеличение аэродинамических коэффициентов в месте расположения проемов для установки ветрогенераторов говорит об увеличении давления и скорости внутри проемов и, соответственно, эффективном вовлечении ветрового потока к расположенным внутри ветрогенераторным установкам, подтверждая результаты ранее проведенного численного исследования [19, 20].

3) Осредненное по площади значение аэродинамического коэффициента для подветренной части здания составляет 0,1 в абсолютном выражении, что много меньше нормативного значения равного 0,5. Данное явление может быть связано с частичным «сбросом давления» за счет наличия проемов с наветренной части фасада, как это показано для объектов-аналогов [21].

4) Интегральное значение лобового сопротивления по результатам эксперимента составило 0,9, что меньше значения 1,3 по нормативным документам [1] как для прямоугольного в плане здания эквивалентных габаритных размеров, что



говорит об эффективном применении метода дренирования фасада здания для уменьшения ветрового давления.

5) Значения аэродинамических коэффициентов для арочной части здания в области пониженного давления составляют 0,4 в абсолютном выражении, что в 3 раза меньше нормативного значения 1,2. С учетом работ [8], в которых для такого типа покрытий прогнозируются значения, превосходящие нормативные, в качестве расчетных рекомендуется принимать значения коэффициентов, представленные в нормативных документах [1] в целях обеспечения надежности и безопасности работы строительных конструкций.

По результатам проведенного исследования можно заключить, что корректировка внешней оболочки высотных зданий может значительно снизить ветровое воздействие на здание (в работе показан один из таких способов – устройство сквозных проемов «сброса давления»). Использование нормативных методик при определении ветровых нагрузок на такие здания ведет к избыточности принимаемых в дальнейшем конструктивных решений, а вынужденное повышение жесткости здания в результате этого – к увеличению динамических нагрузок на здание за счет резонансных эффектов [16].

Работа выполнялась в рамках государственного задания ИПФ РАН на проведение фундаментальных научных исследований на 2021–2023 гг. по теме № 0030-2021-0025.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*: дата введения 4 июня 2017 г. – Москва : Минстрой России, 2016. – 80 с. – Текст : непосредственный.
2. Генералов, В. П. Высотные жилые здания и комплексы : монография / В. П. Генералов, Е. М. Генералова. – Самара : Книга, 2013. – 398 с. – ISBN 978-5-91899-074-2. – Текст : непосредственный.
3. Казакевич, М. И. Актуальные проблемы аэродинамики высотных здания / М. И. Казакевич. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2007. – Т. 13, № 3. – С.151–161.
4. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский, А. В. Перельмутер, С. В. Пичугин. – Москва : АСВ, 2007. – 476 с. – ISBN 978-5-93093-404-5. – Текст : непосредственный.
5. Барштейн, М. Ф. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра / М. Ф. Барштейн. – Москва : Стройиздат, 1978 – 216 с. – Текст : непосредственный.
6. Симиу, Э. Воздействия ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. – Москва : Стройиздат, 1984. – 360 с. – Текст : непосредственный.
7. Реттер, Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : монография / Э. И. Реттер. – Москва : Стройиздат, 1984. – 294 с. – Текст : непосредственный.
8. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г. А. Савицкий. – Москва : Стройиздат, 1972. – 111 с. – Текст : непосредственный.
9. Поддаева, О. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : учебное пособие / О. И. Поддаева, А. С. Кубенин, П. С. Чуринов / Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва : НИУ МГСУ, 2015. – 88 с. – ISBN 978-5-7264-1194-1. – Текст : непосредственный.
10. ГОСТ Р 56728-2015. Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2015 г. № 1892-ст : дата введения 2016-05-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 12 с. – Текст : непосредственный.
11. ТКП EN 1991-1-4:2009. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4.



Общие воздействия. Ветровые воздействия : утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 10 декабря 2009 г. № 404. – URL: <http://www.cstroy.ru/files/ntdoc/np1991-1-4.pdf>. – Текст : электронный.

12. Экспериментальное исследование распределения ветровой нагрузки на поверхность большепролетного здания / П. А. Хазов, А. В. Февральских, Б. Б. Лампси, Ю. Д. Щелокова, А. М. Анущенко. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 2. – С. 9–16.

13. Исследование обтекания воздушными потоками большепролетной поверхности численным и экспериментальным методами / А. М. Анущенко, В. И. Ерофеев, П. А. Хазов, А. А. Сатанов, А. В. Февральских. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 1. – С. 9–18.

14. Сатанов, А. А. Исследование обтекания потоками воздуха уникального высотного здания методом аэродинамического эксперимента / А. А. Сатанов, А. Д. Васин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 38–46.

15. Численное и экспериментальное исследование распределения ветровой нагрузки на криволинейное большепролетное покрытие / П. А. Хазов, А. М. Анущенко, Е. А. Онищук, Ю. Д. Щелокова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 1. – С. 16–21.

16. Влияние штормовой нагрузки на поврежденность материала несущих конструкций каркасного здания / В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина, П. А. Хазов, А. А. Сатанов, А. А. Генералова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 1. – С. 9–15.

17. Хазов, П. А. Численный анализ применимости нормативных методик при назначении ветровой нагрузки на большепролетные поверхности / П. А. Хазов, А. М. Анущенко. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 3. – С. 19–27.

18. Численное и физическое моделирование ветрового воздействия на группу высотных зданий / С. В. Гувернюк, О. О. Егорычев, С. А. Исаев, Н. В. Корнев, О. И. Поддаева. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2011. – Том 1, № 3. – С. 185–191.

19. Хазов, П. А. Оптимизация форм энергоэффективных зданий с ветрогенераторами / П. А. Хазов, М. Л. Поздеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 55–63.

20. Поздеев, М. Л. Оптимальная ориентация энергоэффективных зданий с ветрогенераторами / М. Л. Поздеев. – Текст : непосредственный // XI Всероссийский Фестиваль науки : сборник докладов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2021 – 1438 с.

21. Karadag, Ilker Wind Turbine Integration to Tall Buildings / Ilker Karadag, Izzet Yüksek // Intech Open. – 2020. – P. 15. – DOI: 10.5772/intechopen.91650.

SATANOV Andrey Andreevich¹, post-graduate student; POZDEEV Maksim Leonidovich², student; SIMONOV Aleksandr Vyacheslavovich², student; POMAZOV Artyom Pavlovich², student; KHAZOV Pavel Alekseevich², candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics, head of the laboratory of continuous monitoring of the technical condition of buildings and structures

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE DISTRIBUTION OF AERODYNAMIC COEFFICIENTS ON A HIGH-RISE BUILDING



¹Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – Branch of the Federal Research Center «Institute of Applied Physics of the RAS»

85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia. Tel.: + 7 (831) 432-05-76, +7 (910) 133-38-66; e-mail: andrewsatanov@gmail.com

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: (831) 430-54-96, +7 (908) 756-24-56; e-mail: maksim.leon.pz@yandex.ru

Key words: high-rise building, wind turbine, building model, aerodynamic installation, aerodynamic experiment, aerodynamic coefficient, wind pressure relief, wind load.

The article analyzes distribution of pressure from wind flows on the surface of a high-rise building with openings for wind turbines installation. A model experiment in a wind tunnel showed that the results of a preliminary approximate assessment by standard methods have sufficient convergence, but do not take into account a number of factors, such as a sharp decrease in wind suction on the back surface and a decrease in aerodynamic coefficients along the height of the building, especially in the arched part.

REFERENCES

1. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya. [Loads and effects] : utverzhd. prikazom Ministerstva stroitelva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii (Minstroy Rossii) ot 3 dekabrya 2016 g. № 891/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.01.07-85* : data vved. 4 iyunya 2017 g. – Moscow : Minstroy Rossii. 2016. 80 p.

2. Generalov V. P., Generalova E. M. Vysotnye zhilye zdaniya i komplekсы [High-rise residential buildings and complexes]. Monograph. Samara : Kniga, 2013. 398 p. – ISBN 978-5-91899-074-2.

3. Kazakevich M. I. Aktualnye problemy aerodinamiki vysotnykh zdaniy [Actual problems of aerodynamics of high-rise buildings]. Metallicheskie konstruksii [Metal structures]. 2007. Vol. 13. № 3. P. 151–161.

4. Gordeev V. N., Lantukh-Lyaschenko A. I., Pashinsky V. A., Perelmuter A. V., Pichugin S. V. Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya [Loads and impacts on buildings and structures]. - Moscow: ASV, 2007. 476 p. – ISBN 978-5-93093-404-5.

5. Barshteyn M. F. Rukovodstvo po raschyotu zdaniy i sooruzheniy na deystvie vetra [Guidelines for the calculation of buildings and structures for the action of the wind]. Moscow: Stroyizdat, 1978. 216 p.

6. Simiu E., Scanlan R. Vozdeystviya vetra na zdaniya i sooruzheniya [Wind effects on structures]. Moscow, Stroyizdat. 1984. 360 p.

7. Retter E. I. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodynamika [Architectural and constructional aerodynamics]. Moscow, Stroyizdat. 1984. 294 p.

8. Savitsky G. A. Vetrovaya nagruzka na sooruzheniya [Wind load on structures]. Moscow, Stroyizdat, 1972. 111 p.

9. Poddaeva O. I., Kubenin A. S., Churin P. S. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika [Architectural-construction aerodynamics]: uchebnoe posobie / Natsional. issledovat. Moskovsk. gos. stroit. un-t. – Moscow: NIU MGSU, 2015, 88 p. – ISBN 978-5-7264-1194-1.

10. GOST R 56728-2015. Zdaniya i sooruzheniya. Metodika opredeleniya vetrovykh nagruzok na ograzhdaushchie konstruksii [Buildings and structures. Method of determining wind loads on enclosing structures] : utverzhd. i vved. v deystvie prikazom Federalnogo agentstva po tekhnich. regulir. i metrologii ot 19 noyabrya 2015 g. № 1892-st : data vved. 2016-05-01. Moscow, Standartinform, 2016. 12 p.

11. ТКР EN 1991-1-4-2009. Eurocode 1 Vozdeystviya na konstruksii. Chast 1-4. Obschie vozdeystviya. Vetrovye vozdeystviya [Effects on constructions. Parts 1-4. General effects. Wind effects]: utverzhd. i vved. v deystvie prikazom Ministerstva arkhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus ot 10 dekabrya 2009 g. № 404. – URL: <http://www.cstroy.ru/files/ntdoc/np1991-1-4.pdf>.



12. Khazov P. A., Fevralskykh, A. V., Lampsy B. B., Schyolokova Yu. D., Anuschenko A. M. Eksperimentalnoe issledovanie raspredeleniya vetrovoy nagruzki na poverkhnost bolsheprolyotnogo zdaniya [Experimental study of wind load distribution on the surface of large-span buildings]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2019. № 2. P. 9–16.
13. Anuschenko A. M., Erofeev V. I., Khazov P. A., Satanov A. A., Fevralskikh A. V. Issledovanie obtekaniya vozdushnymi potokami bolsheprolyotnoy poverkhnosti chislennym i eksperimentalnym metodami [Study of air flows streamlining of a large-span surface by numerical and experimental methods]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. – № 1. – P. 9–18.
14. Satanov A. A., Vasin A. D. Issledovanie obtekaniya potokami vozdukha unikalnogo vysotnogo zdaniya metodom aerodinamicheskogo eksperimenta [Experimental study of wind pressure distribution on a unique-shape high-rise building]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2021. – № 3. – P. 38–46.*
15. Khazov P. A., Anuschenko A. M., Onischuk E. A., Schyolokova Yu. D. Chislennoe i eksperimentalnoe issledovanie raspredeleniya vetrovoy nagruzki na krivolinyeynoye bolsheprolyotnoye pokrytie [Numerical and experimental study of the distribution of the wind load on the curvilinear large-span covering]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2020. № 1. P. 16–21.
16. Erofeev V. I., Nikitina E. A., Khazov P. A., Satanov A. A., Generalova A. A. Vliyanie shtormovoy nagruzki na povrezhdynnost materiala nesuschikh konstruksiy karkasnogo zdaniya [Influence of storm loads on damage of bearing constructions material of a frame building] *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. 2019. № 1. P. 9–15.
17. Khazov P. A., Anuschenko A. M. Chislenny analiz primenimosti normativnykh metodik naznacheniya vetrovoy nagruzki na bolsheprolyotnye poverkhnosti [Numerical analysis of normative methods applicability for assigning wind loads to large-span coatings]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2020. № 3. P. 19–27.
18. Guvernyuk S. V., Egorychev O. O., Isaev S. A., Kornev N. V., Poddaeva O. I. Chislennoe i fizicheskoe modelirovanie vetrovogo vozdeystviya na gruppu vysotnykh zdaniy [Numerical and physical modeling of wind impact on a group of high-rise buildings]. *Vestnik MGSU. [MGSU Bulletin]*. 2011. Vol. 1. № 3. P. 185–191.
19. Khazov P. A., Pozdeev M. L. Optimizatsiya form energoeffektivnykh zdaniy s vetrogeneratorami [Optimization of forms of energy-efficient buildings with wind turbines]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 4. P. 55–63.
20. Pozdeev M. L. Optimalnaya orientatsiya energoeffektivnykh zdaniy s vetrogeneratorami [Optimal Orientation of Energy Efficient Buildings with Wind Turbines]. XI Vserossiyskiy Festival nauki [All-Russian Science Festival]: sbornik dokladov. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t, 2021 – 1438 p.
21. Karadag, Ilker. Wind Turbine Integration to Tall Buildings / Ilker Karadag, Izzet Yüksek // *Intech Open. – 2020. – P. 15. – DOI: 10.5772/intechopen.91650.*

© А. А. Сатанов, М. Л. Поздеев, А. В. Симонов, А. П. Помазов, П. А. Хазов, 2022
Получено: 28.05.2022 г.