



УДК 624.042.41

А. А. САТАНОВ¹, аспирант; А. А. МОЛЕВА², студент; Е. П. ИСАЕВА², магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; Н. Г. АБРААМЯН², магистрант кафедры теории сооружений и технической механики

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ УНИКАЛЬНОГО ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

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 (903)-052-65-55; эл. почта: alina.moleva52@yandex.ru

Ключевые слова: уникальное высотное здание, ветровая нагрузка, аэродинамический коэффициент, экспериментальная установка.

Приводятся результаты исследования распределения ветрового давления на поверхностях высотного здания методом эксперимента в аэродинамической трубе. Показано, что для здания уникальной формы значения аэродинамических коэффициентов имеют сложный характер распределения, который может значительно отличаться от предложенного в действующих нормативных документах.

С каждым годом сфера строительства развивается все активнее, и вместе с этим стремительно возрастает сложность возводимых объектов. Появляется все больше требований, предъявляемых к зданиям, усложняются условия, в которых осуществляется их строительство, развиваются методы проектирования и возведения уникальных зданий, имеющих экстремальные габариты и требующие особых методик расчета.

Для высотных зданий характерно то, что их высота многократно превышает размеры в плане, в связи с чем в несущих конструкциях возникают значительные усилия, вызванные горизонтальными нагрузками. Важной задачей является прогнозирование взаимодействия таких зданий с ветровыми потоками. Широкий диапазон изменения форм уникальных сооружений, их взаимного расположения и рост высоты зданий стимулируют развитие аэродинамических исследований в интересах строительства. При этом определение ветровых нагрузок сводится к определению аэродинамических коэффициентов, учитывающих влияние формы объекта на изменение значений давления вследствие искажения воздушных потоков.

При проектировании уникальных высотных зданий индивидуальный подход играет важную роль, поскольку при применении стандартных методик правильный учет архитектурных особенностей сооружения является практически невыполнимой задачей [1–7].

В настоящее время опубликовано большое число работ, авторы которых стремились к корректному математическому описанию ветровых воздействий и разработке соответствующих инженерных методов расчета. Однако до сих пор существующие методики расчета не отражают в достаточной мере истинную картину распределения аэродинамических коэффициентов по поверхности нестандартной формы [8–17].

В соответствии с требованиями свода правил [1] в случае, когда принципиальная геометрическая схема здания не совпадает ни с одной из представленных в приложении В, аэродинамические коэффициенты устанавливаются на основе результатов математического или физического моделирования. Физическое моделирование подразумевает проведение эксперимента с уменьшенной моделью здания в аэродинамической установке [10–16].

Аэродинамическая установка является трубой большого диаметра, через которую продувается воздух. Она разработана для исследования эффектов, возникающих при обтекании твердых тел воздушным потоком. Фактически аэродинамическая установка моделирует воздействие окружающей среды на испытываемое тело, создавая равномерный поток в рабочей области.

В качестве объекта исследования выступает проектируемое в учебных целях 53-этажное высотное уникальное здание, высота которого вместе со шпилем от нулевой отметки составляет 263,5 м, а поперечные размеры здания в осях – 87,55×42,30 м. Для проведения экспериментальной оценки аэродинамических коэффициентов на 3D-принтере был изготовлен макет (рис. 1 цв. вклейки).

Эксперимент был проведен в лаборатории кафедры «Отопление и вентиляция» ННГАСУ. В рабочей зоне аэродинамической установки (рис. 1) был создан равномерный поток воздуха. С помощью микроманометра было измерено статическое давление на поверхности модели здания в характерных точках.

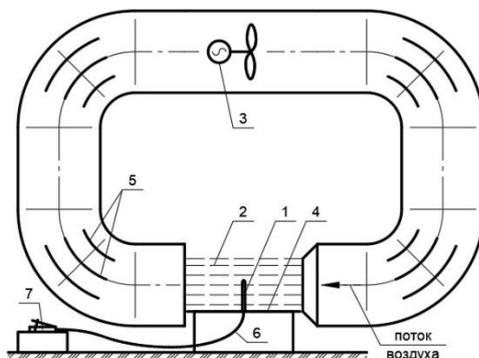


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – исследуемая модель; 2 – ветровой поток; 3 – аэродинамическая труба; 4 – подиум-подставка под макет здания; 5 – направляющие ребра; 6 – гибкая трубка; 7 – микроманометр

Средняя скорость равномерного потока воздуха, создаваемого в рабочей зоне аэродинамической установки, равнялась 12 м/с. Измерение скорости ветрового потока производилось чашечным анемометром МС-13 У1.1 ГОСТ 6376-74, статического давления на поверхности модели здания в характерных точках – микроманометром ММН-240(5)-1,0ТУ 25-01-816-79 для двух

**К СТАТЬЕ А. А. САТАНОВА, А. А. МОЛЕВОЙ, Е. П. ИСАЕВОЙ,
Н. Г. АБРААМЯН «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПО
ПОВЕРХНОСТЯМ УНИКАЛЬНОГО ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ»**

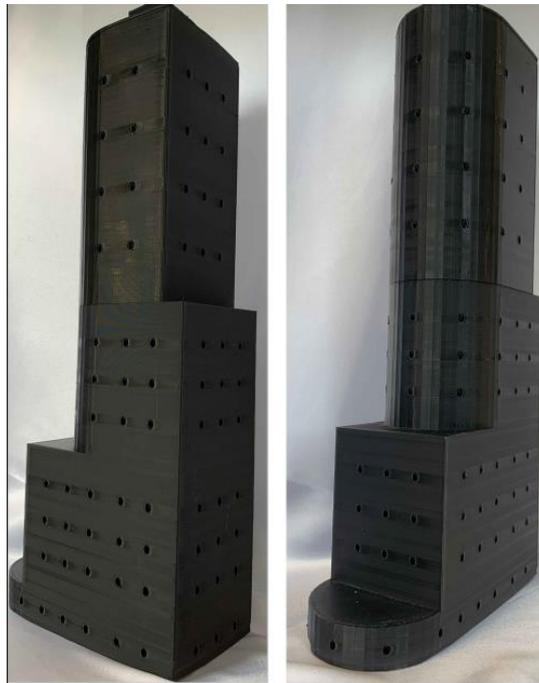


Рис. 1. Макет исследуемого здания

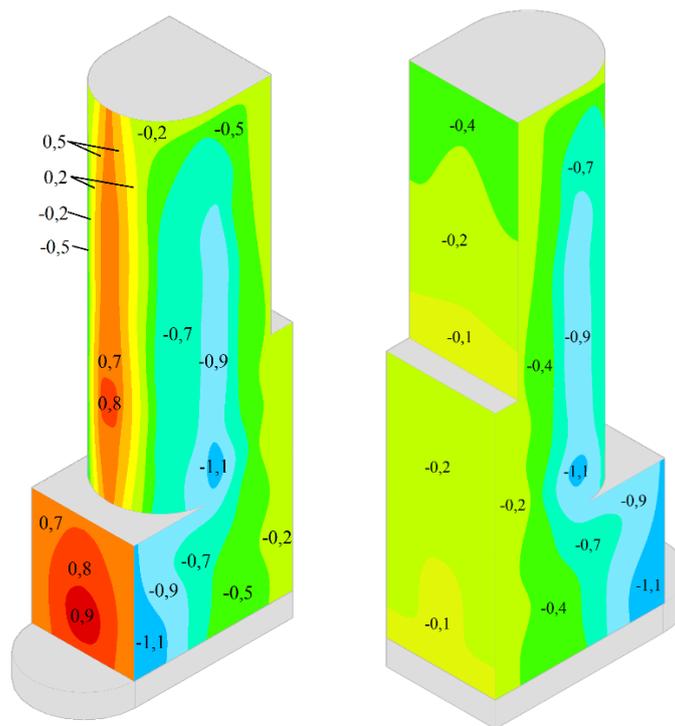


Рис. 2. Изополя распределения аэродинамических коэффициентов по результатам эксперимента для направления I

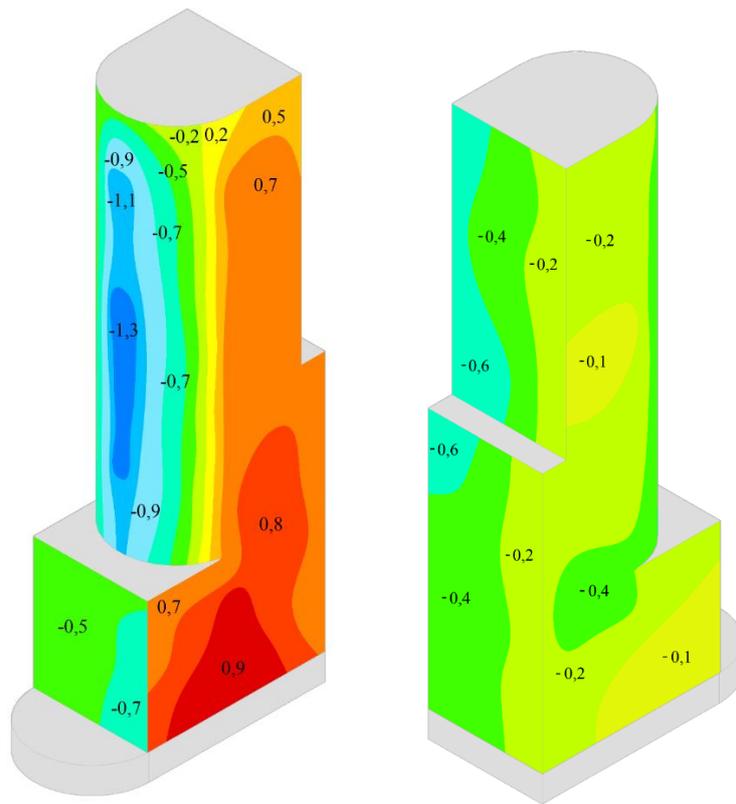


Рис. 3. Изополя распределения аэродинамических коэффициентов по результатам эксперимента для направления 2

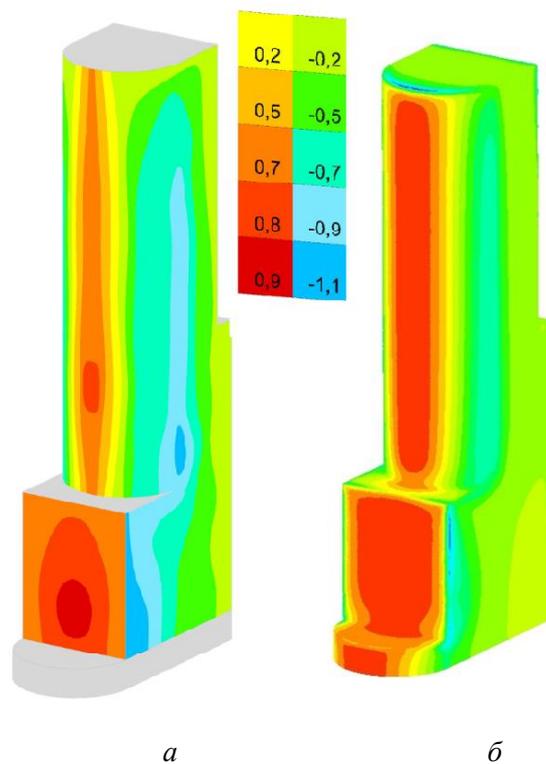


Рис. 4. Аэродинамические коэффициенты, полученные экспериментально (а) и численно (б)

Таблица 3.1

Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа, по результатам эксперимента по направлению ветрового потока I для переднего фасада здания

Высота от земли z , м	Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа		
186	-0.42	0.55	-0.42
166,5	-0.46	0.62	-0.46
147,5	-0.46	0.59	-0.46
128	-0.40	0.50	-0.40
96,5	-0.39	0.53	-0.39
84,5	-0.41	0.48	-0.41
72,5	-0.42	0.40	-0.42
47,5	0.37	0.44	0.37
35	0.40	0.44	0.40
22,5	0.40	0.46	0.40

Таблица 3.2

Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа, по результатам эксперимента по направлению ветрового потока I для заднего фасада здания

Высота от земли z , м	Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа		
186	-0.19	-0.19	-0.19
166,5	-0.19	-0.14	-0.19
147,5	-0.13	-0.13	-0.13
128	-0.08	-0.08	-0.08
96,5	-0.11	-0.11	-0.11
84,5	-0.10	-0.10	-0.10
72,5	-0.10	-0.10	-0.10
47,5	-0.08	-0.06	-0.08
35	-0.08	-0.05	-0.08
22,5	-0.05	-0.05	-0.05

Таблица 3.3

Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа, по результатам эксперимента по направлению ветрового потока I для боковой стороны здания

Высота от земли z , м	Значение аэродинамического коэффициента c_e				
186	-	-0.24	-0.56	-	-
166,5	-	-0.24	-0.71	-	-
147,5	-	-0.26	-0.72	-	-
128	-	-0.28	-0.69	-	-
96,5	-0.15	-0.25	-0.65	-	-
84,5	-0.14	-0.21	-0.62	-	-
72,5	-0.13	-0.23	-0.66	-	-
47,5	-0.14	-0.17	-0.37	-0.37	-0.48
35	-0.11	-0.14	-0.27	-0.38	-0.52
22,5	-0.14	-0.16	-0.25	-0.41	-0.57

Таблица 4.1

Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа, по результатам эксперимента по направлению ветрового потока 2 для переднего фасада здания

Высота от земли z , м	Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа		
	186	-0.38	-0.85
166,5	-0.47	-0.90	-0.33
147,5	-0.52	-0.95	-0.33
128	-0.53	-0.94	-0.33
96,5	-0.40	-0.81	-0.29
84,5	-0.38	-0.70	-0.28
72,5	-0.33	-0.63	-0.30
47,5	-0.32	-0.26	-0.23
35	-0.32	-0.29	-0.26
22,5	-0.35	-0.29	-0.26

Таблица 4.2

Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа, по результатам эксперимента по направлению ветрового потока 2 для заднего фасада здания

Высота от земли z , м	Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа		
	186	-0.47	-0.38
166,5	-0.38	-0.28	-0.19
147,5	-0.47	-0.33	-0.19
128	-0.49	-0.41	-0.20
96,5	-0.37	-0.29	-0.18
84,5	-0.24	-0.21	-0.17
72,5	-0.20	-0.20	-0.17
47,5	-0.23	-0.26	-0.16
35	-0.23	-0.19	-0.16
22,5	-0.23	-0.19	-0.16

Таблица 4.3

Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа по результатам эксперимента по направлению ветрового потока 2 для боковой наветренной стороны

Высота от земли z , м	Значение аэродинамического коэффициента c_e				
	186	-	0.47	0.54	-
166,5	-	0.54	0.57	-	-
147,5	-	0.57	0.57	-	-
128	-	0.52	0.55	-	-
96,5	0.47	0.50	0.50	-	-
84,5	0.47	0.47	0.50	-	-
72,5	0.45	0.50	0.47	-	-
47,5	0.48	0.48	0.51	0.48	0.46
35	0.44	0.48	0.53	0.51	0.48
22,5	0.46	0.51	0.53	0.48	0.51

Таблица 4.4

Расчетные значения ветровой нагрузки w , кПа, по результатам эксперимента по направлению ветрового потока 2 для боковой подветренной стороны

Высота от земли z , м	Значение аэродинамического коэффициента c_e				
	186	-	-0.18	-0.18	-
166,5	-	-0.18	-0.18	-	-
147,5	-	-0.14	-0.18	-	-
128	-	-0.12	-0.12	-	-
96,5	-0.14	-0.14	-0.14	-	-
84,5	-0.13	-0.13	-0.13	-	-
72,5	-0.16	-0.16	-0.16	-	-
47,5	-0.15	-0.15	-0.15	-0.12	-0.17
35	-0.12	-0.12	-0.09	-0.09	-0.13
22,5	-0.12	-0.09	-0.09	-0.09	-0.13

направлений ветрового потока (рис. 2). Для этого каждая трубка из системы дренажей соединяется с микроманометром с помощью гибкой резиновой трубки [7].

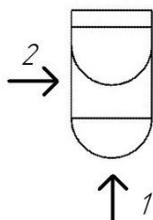


Рис. 2. Направления ветровых потоков, принятые при моделировании

По показаниям микроманометров были вычислены аэродинамические коэффициенты c_e :

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

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

По полученным значениям были построены изополя распределения аэродинамических коэффициентов передней, боковых и задней поверхностей исследуемого здания для двух направлений ветровых потоков (рис. 2, 3 цв. вклейки).

Расчетные значения основной ветровой нагрузки w определялись как сумма средней w_m и пульсационной w_p составляющих по формулам, приведенным в действующих нормативных документах [1]:

$$w = w_m + w_p, \quad (2)$$

$$w_m = w_0 \cdot c_e \cdot k(z_e), \quad (3)$$

где $w_0=0,3$ КПа – нормативное значение ветрового давления для II ветрового района; c_e – аэродинамический коэффициент, определенный экспериментально; $k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте для типа местности В. Представлен в табл. 1.

Значения коэффициента $k(z_e)$

Таблица 1

Высота от земли z , м	Значения коэффициента $k(z_e)$ в зависимости от направления ветрового потока	
	для первого направления ветрового потока (со стороны переднего фасада)	для второго направления ветрового потока (с боковой стороны)
186	2,12	2,12
166,5	2,12	2,12
147,5	1,89	2,12
128	1,77	1,77
96,5	1,57	1,57
84,5	1,48	1,48
72,5	1,39	1,39
47,5	1,18	1,35
35	1,13	1,35
22,5	1,13	1,35



$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (4)$$

где $\zeta(z_e)$ – коэффициент пульсации ветра. Значения представлены в табл. 2; v – коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра. Для первого направления ветрового потока $v_{1, \text{фасад}} = 0,5445$ и $v_{1, \text{бок}} = 0,5735$, для второго $v_{2, \text{фасад}} = 0,5941$ и $v_{2, \text{бок}} = 0,5114$.

Значения коэффициента пульсации $\zeta(z_e)$

Таблица 2

Высота от земли z, м	Значения коэффициента $\zeta(z_e)$ в зависимости от направления ветрового потока	
	для первого направления ветрового потока (со стороны переднего фасада)	для второго направления ветрового потока (с боковой стороны)
186	0,578	0,578
166,5	0,578	0,578
147,5	0,6225	0,578
128	0,642	0,642
96,5	0,67525	0,675
84,5	0,69325	0,693
72,5	0,715	0,715
47,5	0,7775	0,726
35	0,791	0,726
22,5	0,791	0,726

Расчетные значения ветровой нагрузки, полученные в результате эксперимента, представлены в табличной форме (табл. 3, 4 цв. вклейки).

Для направления ветрового потока I было проведено численное моделирование в ПК *Ansys CFX* (рис. 4 цв. вклейки). Анализ полученных значений показывает, что изополя распределения аэродинамических коэффициентов по результатам экспериментального и численного исследований во многом совпадают. На переднем и заднем фасадах исследуемого здания при проведении натурных испытаний и численного моделирования можно выделить одинаковые участки, в которых наблюдается высокая сходимость результатов как по характеру распределения ветрового давления, так и в численном эквиваленте.

На основании полученных экспериментально значений аэродинамических коэффициентов можно сделать следующие выводы:

1) С наветренной стороны осредненное значение аэродинамического коэффициента для обоих направлений ветровых потоков в целом соответствует предложенному в нормативных документах [1] значению, равному 0.8.

2) Для направления I в прямоугольной в плане нижней части здания на боковых поверхностях значения аэродинамических коэффициентов соответствуют нормативным, однако в верхней, скругленной в плане части, значительно отличаются, что необходимо учитывать при расчетах. Для подветренной задней части здания значения немного ниже нормативных, что объясняется сложной формой исследуемого здания.



3) Для направления 2 в прямоугольной в плане нижней части здания на боковых и задней поверхностях значения аэродинамических коэффициентов ниже нормативных, что также объясняется сложной формой исследуемого здания. В верхней, скругленной в плане части, значения аэродинамических коэффициентов имеют более сложный характер распределения и могут превышать нормативные, что необходимо учитывать при расчетах.

Работа выполнена в рамках государственного задания на проведение фундаментальных научных исследований по теме № 0030-2021-0025, регистрационный номер 1021060908990-9-2.3.2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – Москва : Минстрой России, 2016. – 80 с. – Текст : непосредственный.
2. Симиу, Э. Воздействия ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. – Москва : Стройиздат, 1984. – 360 с. – Перевод изд.: WindEffectsonStructures / E. Simiu, R. Scanlan (1978). – Текст : непосредственный.
3. Реттер, Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : монография / Э. И. Реттер. – Москва : Стройиздат, 1984. – 294 с. – Текст : непосредственный.
4. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г. А. Савицкий. – Москва : Изд-во лит. по стр-ву, 1972. – 111 с. – Текст : непосредственный.
5. Генералов, В. П. Высотные жилые здания и Сингапур. Опыт проектирования и строительства высотного жилья : монография / В. П. Генералов, Е. М. Генералова ; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара : Книга, 2013. – 397 с. : ил. – ISBN 978-5-91899-074-2. – Текст : непосредственный.
6. Казакевич, М. И. Актуальные проблемы аэродинамики высотных здания / М. И. Казакевич. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2007. – Том 13, № 3. – С. 151–161.
7. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский [и др.]. – Москва : АСВ, 2007. – 476 с. – ISBN 978-5-93093-404-5. – Текст : непосредственный.
8. Поддаева, О. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : учебное пособие / О. И. Поддаева, А. С. Кубенин, П. С. Чурин. – Москва : НИУ МГСУ, 2015. – 88 с. – ISBN 978-5-7264-1194-1. – Текст : непосредственный.
9. ГОСТ Р 56728-2015. Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 12 с. – Текст : непосредственный.
10. Экспериментальное исследование распределения ветровой нагрузки на поверхность большепролетного здания / П. А. Хазов, А. В. Февральских, Б. Б. Лампси [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 2. – С. 9–16.
11. Исследование обтекания воздушными потоками большепролетной поверхности численным и экспериментальным методами / А. М. Анущенко, В. И. Ерофеев, П. А. Хазов [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 1. – С. 9–18.
12. Экспериментальное исследование распределения аэродинамических коэффициентов на высотное здание / А. А. Сатанов, М. Л. Поздеев, А. В. Симонов [и др.] // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 3 (63). – С. 43–51.



13. Шилов, С. С. Численное и физическое моделирование ветровых потоков на большепролетное покрытие / С. С. Шилов, Б. Б. Лампси, П. А. Хазов. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2022. – № 1. – С. 21–31.

14. Сатанов, А. А. Определение аэродинамических характеристик большепролетного здания экспериментальными методами / А. А. Сатанов, А. В. Симонов, П. А. Хазов. – Текст : непосредственный // Строительная механика и конструкции. – 2023. – № 1 (36). – С. 63–74.

15. 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.

16. 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.

17. Численное и физическое моделирование ветрового воздействия на группу высотных зданий / С. В. Гувернюк, О. О. Егорычев, С. А. Исаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2011. – Том 1, № 3. – С. 185–191.

SATANOV Andrey Andreevich¹, post-graduate student; MOLEVA Alina Aleksandrovna², student; ISAEVA Ekaterina Pavlovna², undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; ABRAAMYAN Nelly Gaykovna², undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics

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

¹Institute for Mechanical Engineering Problems of the Russian Academy of Sciences, branch of the “Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences” 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, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96, +7 (903)-052-65-55; e-mail: alina.moleva52@yandex.ru

Ключевые слова: unique high-rise building, wind load, aerodynamic coefficient, experimental installation.

The article presents the results of a research of the distribution of wind pressure on the surfaces of a high-rise building by an experiment in a wind tunnel. It is shown that for a building of a unique shape, the values of aerodynamic coefficients have a complex distribution, which may differ significantly from those proposed in the current regulatory documents.

REFERENCES

1. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya [Loads and effects]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.1.07-85*. Moscow: Minstroy Rossii. 2016. 80 p.

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



3. Retter E. I. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodynamika [Architectural and constructional aerodynamics] : monografiya. Moscow, Stroyizdat. 1984. 294 p.
4. Savitskiy G. A. Vetrovaya nagruzka na sooruzheniya [Wind load on structures]. Moscow, Izd-vo lit. po str-vu. 1972. 111 p.
5. Generalov V. P., Generalova E. M. Vysotnye zhilye zdaniya i Singapur. Opyt proektirovaniya i stroitelstva vysotnogo zhylya [High-rise residential buildings and Singapore. Experience in the design and construction of high-rise housing] : monografiya. Samarskiy gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Samara : Kniga, 2013. 397 p. : il. – ISBN 978-5-91899-074-2.
6. 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.
7. Gordeev V. N., Lantukh-Lyaschenko A. I., Pashinsky V. A., et al. 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.
8. Poddaeva O. I., Kubenin A. S., Churin P. S. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika [Architectural-construction aerodynamics]: uchebnoe posobie. – Moscow: NIU MGSU, 2015, 88 p. – ISBN 978-5-7264-1194-1.
9. GOST R 56728-2015 Zdaniya i sooruzheniya. Metodika opredeleniya vetrovykh nagruzok na ograzhdayushchie konstruksii [Buildings and structures. Method of determining wind loads on enclosing structures]. Moscow, Standartinform, 2016. 12 p.
10. Khazov P. A., Fevral'skiykh A. V., Lampsi B. B., et al. 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.
11. Anuschenko A. M., Erofeev V. I., Khazov P. A., et al. 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.
12. Satanov A. A., Pozdeev M. L., Simonov A. V., et al. Eksperimentalnoe issledovanie raspredeleniya aerodinamicheskikh koeffitsientov na vysotnoe zdanie [Experimental study of the distribution of aerodynamic coefficients on a high-rise building]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022. – № 3(63). – P. 43–51.
13. Shilov S. S., Lampsi B. B., Khazov P. A. Chislennoe i fizicheskoe modelirovanie vetrovykh potokov na bolsheprolyotnoe pokrytie [Numerical and physical modeling of wind flows on a long-span coating]. Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2022. – № 1. – P. 21–31.
14. Satanov A. A., Simonov A. V., Khazov P. A. Opredelenie aerodinamicheskikh kharakteristik bolsheprolyotnogo zdaniya eksperimentalnymi metodami [Determination of aerodynamic characteristics of a large-span building by experimental methods]. Stroitel'naya mekhanika i konstruksii [Structural mechanics and engineering constructions]. – 2023. – № 1(36). – P. 63–74.
15. 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] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2021. – № 3. – P. 38–46.
16. Khazov P. A., Anuschenko A. M., Onischuk E. A., Schyolokova Yu. D. Chislennoe i eksperimentalnoe issledovanie raspredeleniya vetrovoy nagruzki na krivolinyeynoe bolsheprolyotnoe 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.

17. Guvernuyk S. V., Egorychev O. O., Isaev S. A., et al. 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.

© **А. А. Саганов, А. А. Молева, Е. П. Исаева, Н. Г. Абрамян, 2023**

Получено: 28.03.2023 г.