



УДК 624.042.41

С. С. ШИЛОВ, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики; **Е. С. КАШКИНА**, студент; **П. А. ХАЗОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОРИЕНТАЦИИ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ ПО РОЗЕ ВЕТРОВ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: sergey.shilov.1997@mail.ru, kashkina_ekaterina_s@mail.ru

Ключевые слова: численное моделирование, граничные условия, начальные условия, изополя давлений, роза ветров.

Изложен порядок проведения численного моделирования ветровых потоков в программном комплексе Ansys CFX. Особое внимание уделено начальным и граничным условиям расчетной модели. В качестве начальных условий приняты профиль скорости ветра и параметры турбулентности. Приводятся результаты численного моделирования в виде изополей ветровых давлений на поверхности здания при различной ориентации модели. Выполнена обработка и анализ полученных результатов, сделан вывод о наиболее благоприятной ориентации здания с учетом розы ветров для данного типа местности.

Ветровые воздействия на высотные здания относятся к группе основных нагрузок. Исследования аэродинамики занимают значительную часть в общем объеме проектных работ. Как показали оценки специалистов, для зданий выше 200 м ветер (соответствующий VI ветровому району РФ) очень опасен для общей прочности, устойчивости и долговечности несущих элементов.

Согласно существующей нормативной документации [1, 2] вопросы аэродинамики отражают специфику ветровых воздействий на высотные здания в недостаточной степени, из-за чего приходится применять экспериментальные и численные методы, к которым относятся: мониторинг, натурные замеры, испытания в аэродинамических трубах, численное моделирование.

В последние 10–15 лет бурно развивается вычислительная гидрогазодинамика (CFD), совершенствуются технологии расчетов ветровых воздействий на здания и сооружения при неуклонно возрастающей мощности компьютеров. Ведущие зарубежные исследовательские и проектные организации все чаще комбинируют испытания и «численные» эксперименты [3–12]. В перспективе роль математического моделирования, как показал опыт в смежных отраслях (например, аэрокосмической) и задачах (например, строительной механики), будет только возрастать.

Целью исследования является определение положения здания, при котором среднегодовое ветровое воздействие на него будет минимальным. Для создания численного аналога аэродинамической трубы требуется выполнить следующие шаги: выбор математической модели задачи и модели турбулентности; создание домена и построение сетки конечных элементов; назначение граничных условий для 8 вариантов модели.



Расчеты ветровых потоков и воздействий сводятся в общем случае к численному решению системы трехмерных нестационарных нелинейных уравнений гидрогазодинамики. В практических задачах определения ветровых нагрузок и воздействий на здания и сооружения с практически обоснованным упрощением ветровые потоки принимаются несжимаемыми ($\rho = \text{const}$), изотермическими ($T = \text{const}$), а внешние массовые силы не учитываются. Тогда нестационарные уравнения гидрогазодинамики принимают следующий вид [13, 14]:

1) уравнение движения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right]; \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right]; \end{aligned}$$

2) уравнение неразрывности и состояния:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0; \\ p &= \text{const}. \end{aligned}$$

Прямое решение данных уравнений с учетом вихрей всех масштабов (*DNS*, *Direct Numerical Simulation*) при современных возможностях ЭВМ практически реализуемо только для очень малых скоростей потока и исследовательских задач.

Построение расчетной области произведено в программе *SpaceClaim* среды *ANSYS Workbench*. Данная операция заключается в создании твердотельного объема *Solid*, моделирующего воздушное пространство вокруг исследуемого объекта, которому задано свойство *Fluid*, отвечающее за назначение свойств газовой среды для последующего расчета.

В качестве объекта исследования взята модель проектируемого в научных целях сооружения, а именно высотного офисного 60-этажного здания с одноуровневой подземной парковкой. Высота здания от нулевой отметки составляет 289,5 м (рис. 1 цв. вклейки). Высотная часть имеет сложную в плане форму, которая изменяется по высоте здания (рис. 1).

После создания расчетной области производится формирование расчетной сетки в сеточном препроцессоре *ANSYS Meshing*. Предварительно задаются границы поверхностей расчетной области, необходимые для последующего задания граничных условий течения воздуха. Для корректного воспроизведения течения ветрового потока в настройках сеточного генератора задается сгущение элементов сетки к поверхности здания (рис. 2).

Размеры рабочего пространства были приняты в соответствии с [12] в зависимости от максимального размера объекта: $A \geq 5H_{\text{max}}$, $B \geq 5H_{\text{max}}$, $C \geq 15H_{\text{max}}$, $D \geq 6H_{\text{max}}$ (рис. 3).

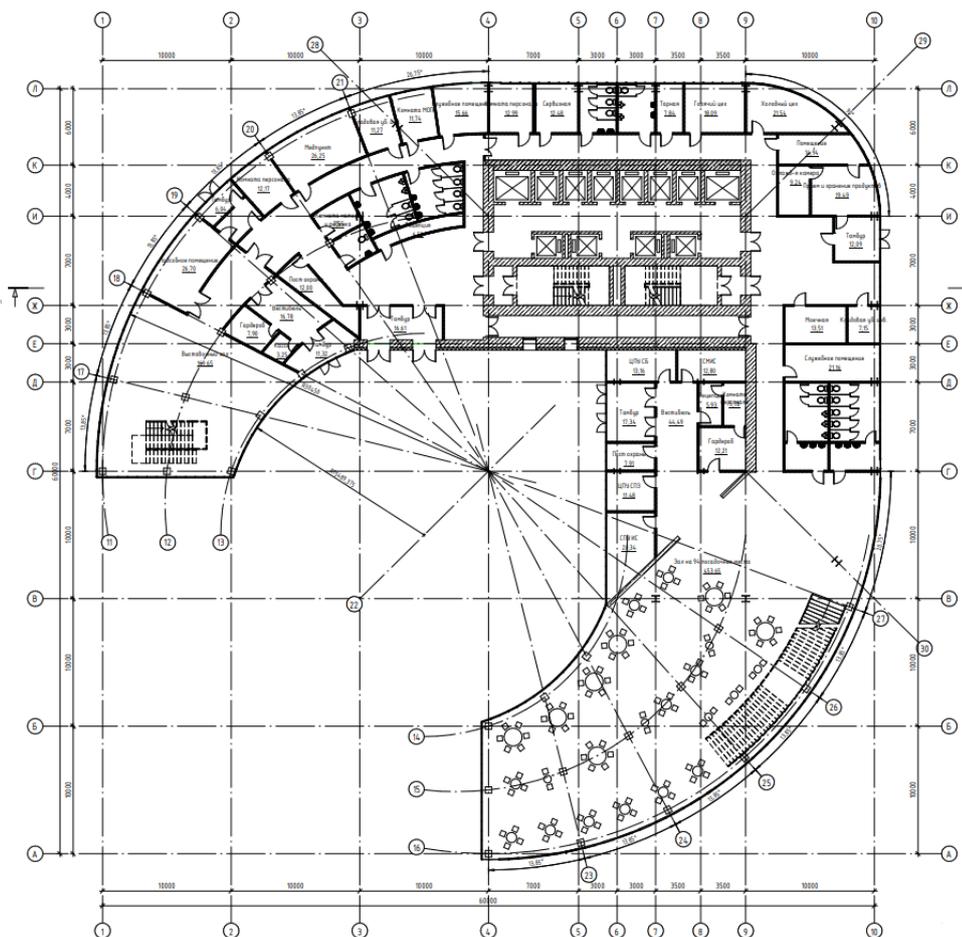


Рис. 1. План 1-го этажа здания

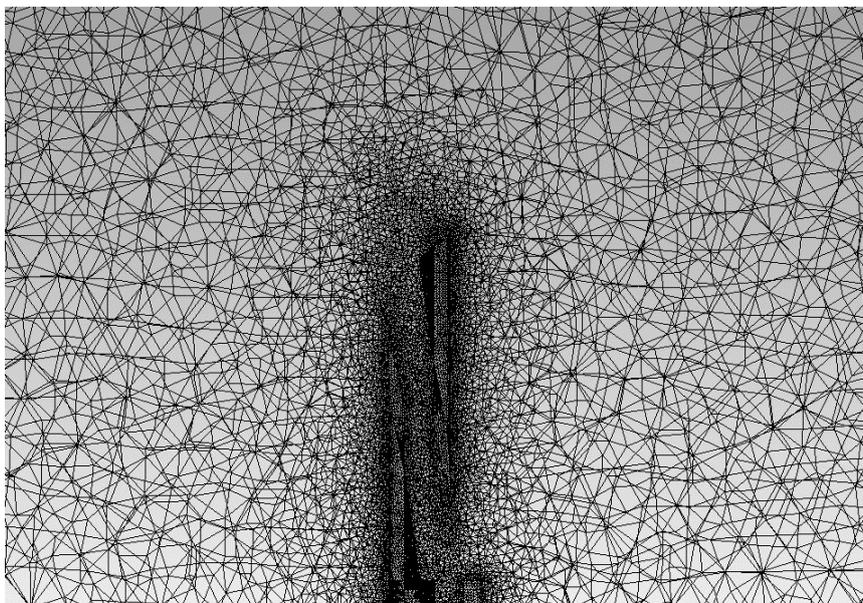


Рис. 2. Расчетная сетка, сформированная в *Ansys Meshing*

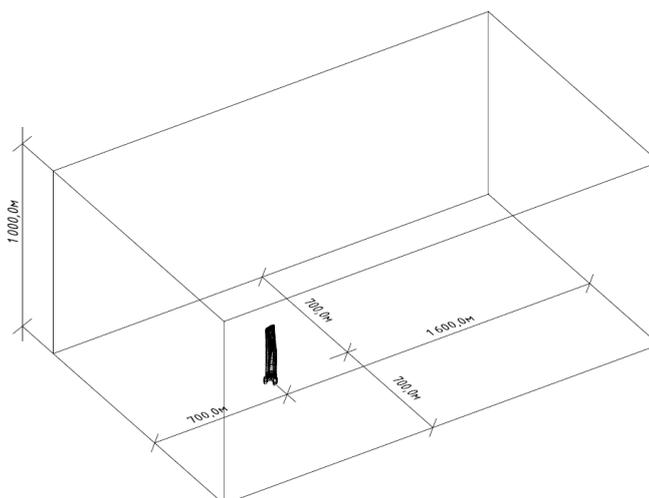


Рис. 3. Ограничивающая область и модель здания

Во вкладке *Fluid Models* осуществляется выбор модели турбулентного течения. В качестве основной модели турбулентности была выбрана модель SST (*Shear Stress Transport*), которая действительна для описания турбулентного течения во всей расчетной области при условии обеспечения необходимого представления расчетной сетки в пристеночной области.

На «выходе» (*OUTLET*) используются «мягкие» граничные условия по Нейману (равенство нулю производных) с нулевыми дополнительными давлениями.

На верхней и боковых (для расчетной области в форме параллелепипеда) границах расчетной области используются условия симметрии потока. На нижней границе расчетной области (земле) и на всех поверхностях здания используется условие «стенки с прилипанием» ($u = v = w = 0$ м/с), исключающее проникновение вещества через поверхность.

В качестве характеристик набегающего потока (граничные условия на «входе» (*INLET*)) используется профиль ветра, определяемый на основании действующих нормативных документов по формуле 2 [15].

$$U(z) = U_o \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha, U_o = \left(\frac{2w_0}{\rho} \right)^{0.5},$$

где $w_0 = 0,23 \text{ кПа} = 230 \text{ Па}$ – нормативное значение ветрового давления для I ветрового района по табл. 11.1 [1]; $\rho = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность воздуха при нормальных атмосферных условиях; $z_0 = 30,5$, $\alpha = 0,2$ – параметры, определяемые типом шероховатости местности по табл. 4 [15], как для типа местности В.

$$U_o = \left(\frac{2 \cdot 230}{1,2} \right)^{0.5} = 19,58 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Общий вид закона изменения скорости ветра по высоте будет иметь вид:

$$U(z) = 19,58 \left(\frac{z}{30,5} \right)^{0,2}.$$

Также на входе задаются значения интенсивности и масштаба длины вихрей турбулентности. В российских нормативных документах данные значения не регламентируются. Таким образом, в учебных целях можно обратиться к



нормативным документам других стран, в которых имеются данные по характеристикам турбулентности. Обратимся к европейским нормам [16].

Интенсивность турбулентности определяется по формуле 4.7 [16]:

$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)},$$

где $k_t = 1,0$ – параметр турбулентности, принимаемый по рекомендациям еврокода; $c_0(z) = 1,0$ – топографический коэффициент; $z_0 = 0,3$ – длина шероховатости – определяются по табл. 4.1 [16].

Результаты полученных значений интенсивности турбулентности сведены в табл. 1.

Масштаб длины турбулентности определяется по формуле В.1 [16]:

$$L(z) = L_t \left(\frac{z}{z_t}\right)^\alpha,$$

где $z_t = 200$ м – контрольная высота; $L_t = 300$ м – контрольная длина турбулентности; $\alpha = 0,55$ – коэффициент, определяемый в зависимости от категории воздействия строительной площадки.

Результаты полученных значений масштабов длины турбулентности сведены в табл. 2.

Таблица 1

Данные интенсивности
турбулентности

z, м	$I_v(z)$
0	0.228205
8	0.228205
20	0.188739
50	0.160911
100	0.144765
200	0.131563
300	0.124901
400	0.120568
500	0.11741
600	0.114949
700	0.112948
800	0.111269
900	0.10983
1000	0.108574
1100	0.107462
1200	0.106466
1300	0.105566
1400	0.104747
1500	0.103995

Таблица 2

Данные масштаба длины
турбулентности

z, м	$L(z)$
0	51.08
8	51.08
20	84.55
50	139.95
100	204.91
200	300.00
300	374.95
400	439.23
500	496.58
600	548.96
700	597.53
800	643.06
900	686.10
1000	727.03
1100	766.16
1200	803.72
1300	839.89
1400	874.83
1500	908.67

Для численного моделирования было построено 8 моделей здания для проведения эксперимента по 8 различным направлениям. Поворот модели осуществляется по часовой стрелке на 45^0 (рис. 1). За исходное направление ветра

К СТАТЬЕ С. С. ШИЛОВА, Е. С. КАШКИНОЙ, П. А. ХАЗОВА
«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОРИЕНТАЦИИ
ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ ПО РОЗЕ ВЕТРОВ»



Рис. 1. Проектируемое офисное здание: *a* – визуализация проектируемого здания, *б* – главный фасад

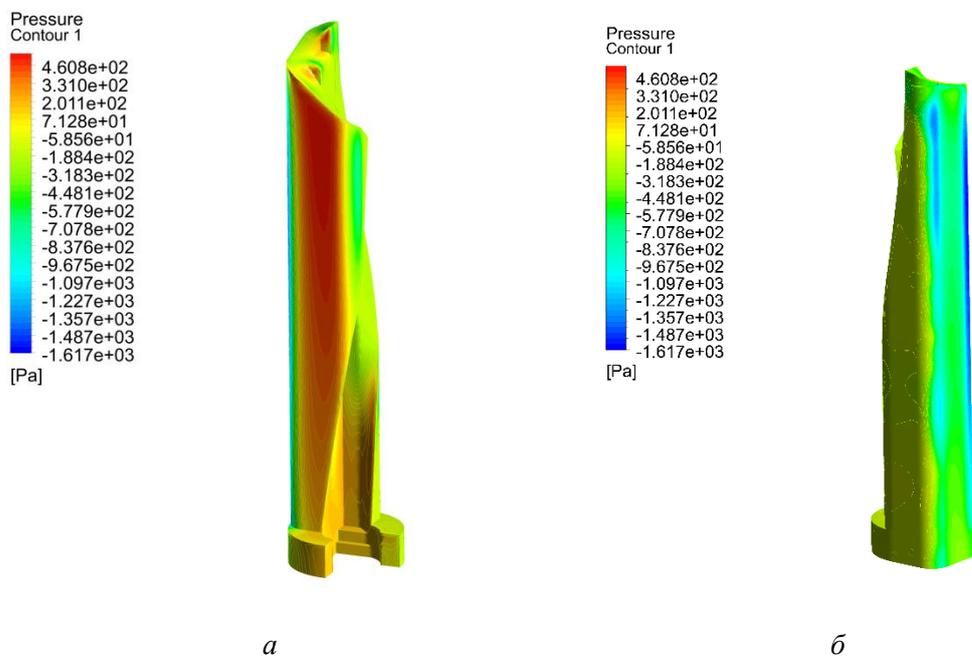
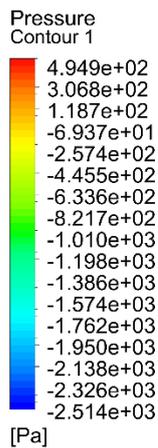
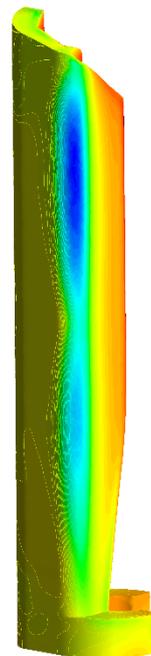
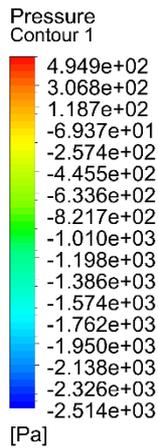


Рис. 2. Распределение ветрового давления по поверхности здания (направление С):
a – видовая точка 1; *б* – видовая точка 2

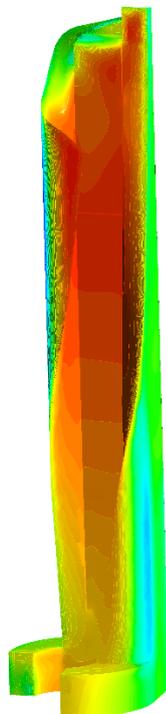
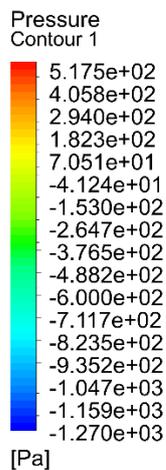


a

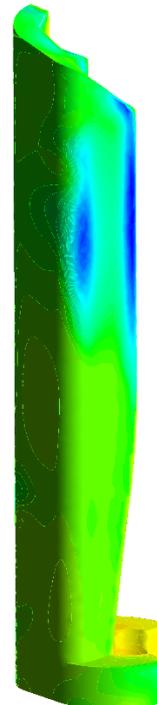
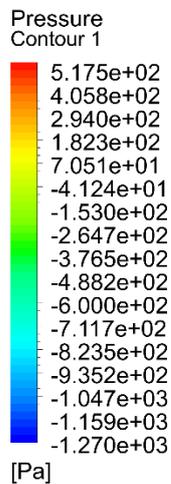


б

Рис. 3. Распределение ветрового давления по поверхности здания (направление СВ):
a – видовая точка 1; *б* – видовая точка 2



a



б

Рис. 4. Распределение ветрового давления по поверхности здания (направление В):
a – видовая точка 1; *б* – видовая точка 2

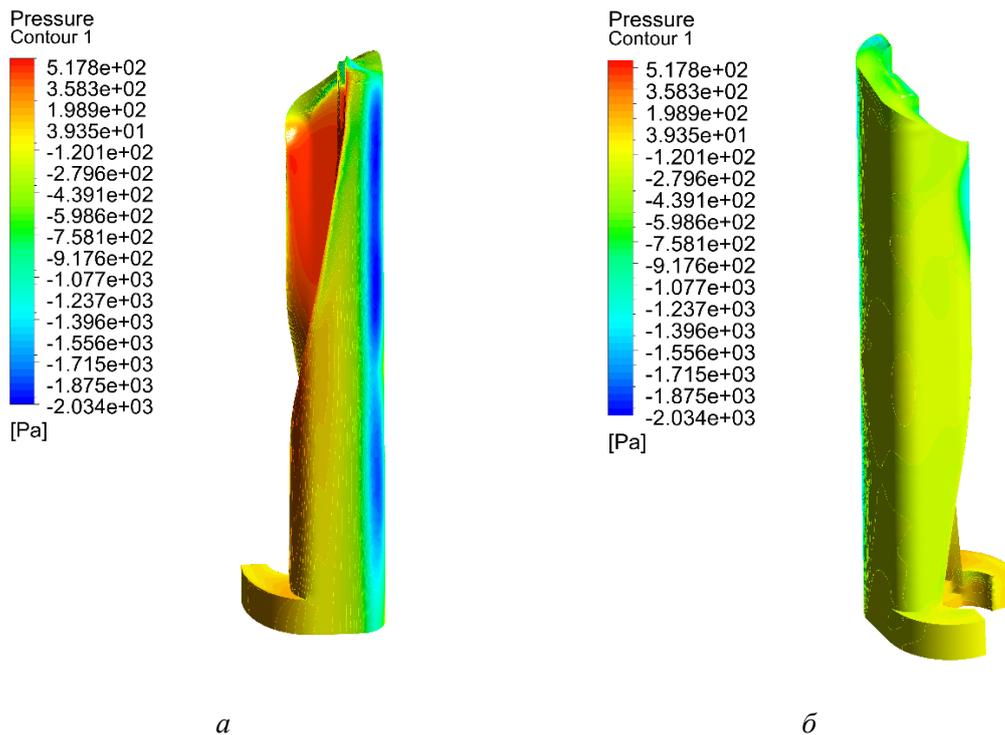


Рис. 5. Распределение ветрового давления по поверхности здания (направление ЮВ):
a – видовая точка 1; *б* – видовая точка 2

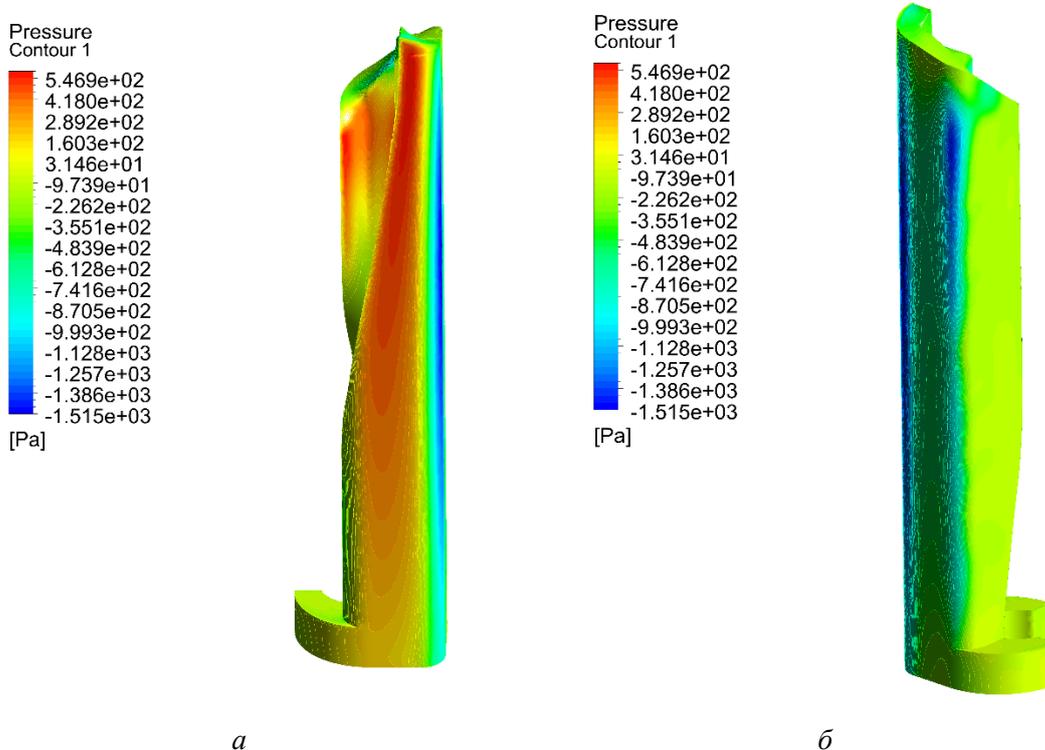


Рис. 6. Распределение ветрового давления по поверхности здания (направление Ю):
a – видовая точка 1; *б* – видовая точка 2

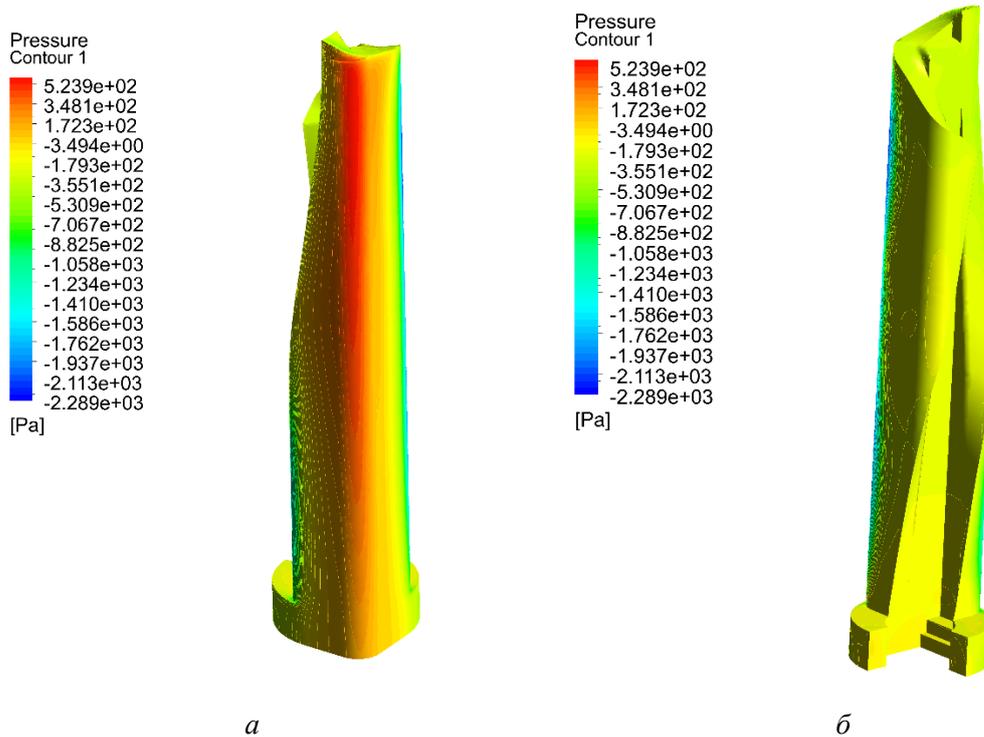


Рис. 7. Распределение ветрового давления по поверхности здания (направление Z):
a – видовая точка 1; *b* – видовая точка 2

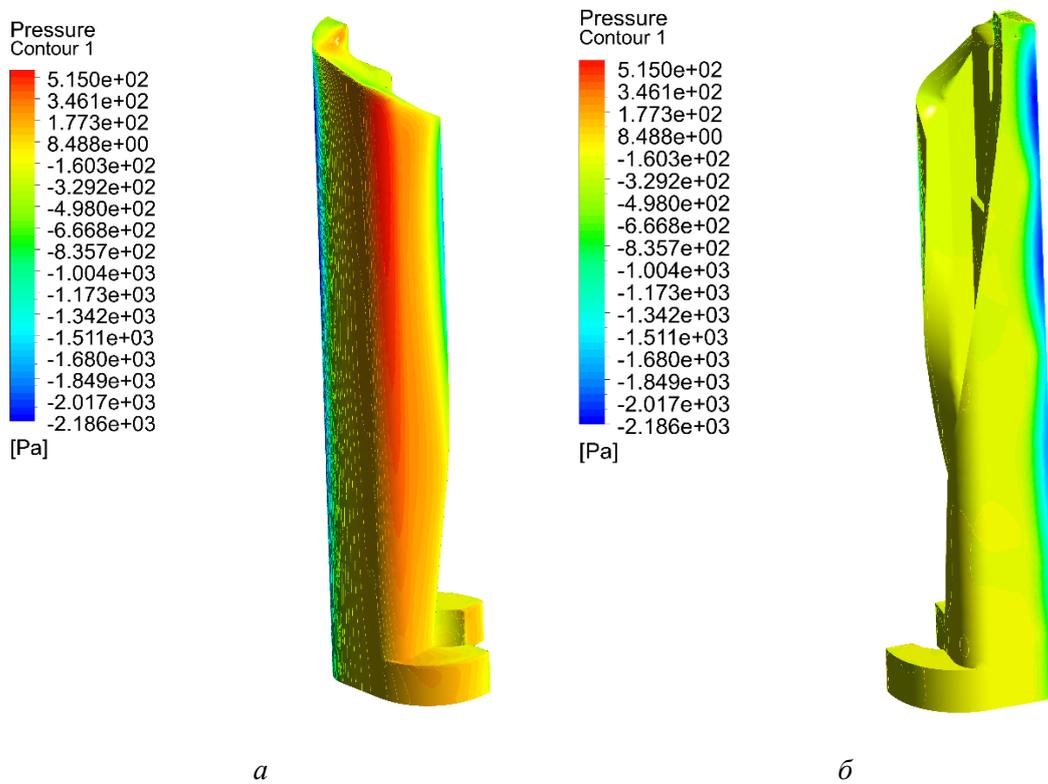


Рис. 8. Распределение ветрового давления по поверхности здания (направление C3):
a – видовая точка 1; *b* – видовая точка 2

считается направление вдоль буквенных осей А-Л. Начальные и граничные условия сохраняются для каждого варианта.

Значения ветрового давления и скорости ветра, полученные для каждой исследуемой ситуации, приведены на рис. 2–8 цв. вклейки.

Определяются значения равнодействующей ветровой нагрузки по направлениям X и Y для каждого случая. Полученные значения сводятся в табл. 3.

Таблица 3

Равнодействующая ветровой нагрузки

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
по X	2.961	4.422	5.675	4.193	3.074	3.732	3.606	3.519
по Y	6.763	6.201	0.848	6.551	6.242	4.156	3.906	3.755
Равнодействующая	7.382797	7.616199	5.73801	7.77797	6.9579	5.5857	5.3160	5.14620

Для определения наиболее выгодного положения здания требуется роза ветров для города строительства (рис. 4) [17].

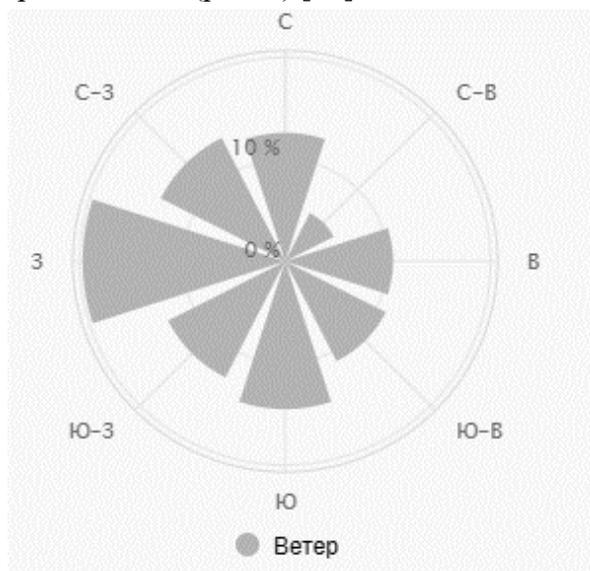


Рис. 4. Роза ветров для Нижнего Новгорода

Наиболее подходящим случаем ориентации объекта проектирования является такой, при котором максимальная равнодействующая попадает на минимальную повторяемость. Здание необходимо расположить так, чтобы преобладающее направление ветра было направлено на угол здания, т. е. ось 20 должна быть сонаправлена с западом.

Выполненное исследование освещает лишь один параметр, влияющий на геометрию и ориентацию здания. Безусловно, для определения положения высотных объектов, помимо аэродинамических исследований влияния на несущие конструкции, необходимо учитывать аэродинамическую комфортность при эксплуатации, а также проводить оптимизацию согласно требованиям инсоляции (как самого здания, так и окружающей застройки), акустики, сейсмо- и виброустойчивости, архитектурной и эстетической выразительности и др.



параметров. Только применение всестороннего комплексного анализа может привести к нахождению максимально рационального решения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Нижегородской области (грантов Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники от 04.07.2023 года № 316-06-16-118a/23).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : актуализированная редакция СНиП 2.01.07.85* (Изменениями 1,2).] : дата введения 04.06.17 / Минрегион России. – Изд. офиц. – Москва, 2016. – IV, 80 с. : ил. + 8 карт. – (Свод правил). – Текст : непосредственный.
2. EN 1994-1-4. (1994). Eurocode 1: Basic design and action on structure. Part 1: Basic design. CEN, 232. British Standards, Loadings for Buildings ; Part 2. Code of Practice for Wind Loads (1995) / Building Civil Engineering Sector Board, UK. – 1994 ; 1995.
3. Поддаева, О. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : учебное пособие / О. И. Поддаева, А. С. Кубенин, П. С. Чуринов / Московский государственный строительный университет. – Москва : НИУ МГСУ, 2015. – 88 с. – Текст : непосредственный.
4. Ретгер, Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : монография / Э. И. Ретгер. – Москва: Стройиздат, 1984. – 294 с.
5. Симиу, Э. Воздействия ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. – Москва : Стройиздат, 1984. – 360 с. – Текст : непосредственный.
6. Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов / М. К. Михайлова, В. С. Далинчук, А. В. Бушманова, Л. В. Доброгорская. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2016. – № 10 (49). – С. 59–74.
7. Мохамед, А. Сравнение численного исследования влияния выступов здания на аэродинамику с результатами аэродинамических испытаний / А. Мохамед, К. Уайт, С. Уоткинс // 15-й семинар Австралийского общества ветроэнергетики. – Сидней, 2012. – С. 4.
8. Лампси, Б. Б. Численное и физическое моделирование ветровых потоков на большепролетное покрытие / Б. Б. Лампси, С. С. Шилов, П. А. Хазов // Вестник Московского государственного строительного университета. – Москва, 2022. – № 1. – С. 21–31.
9. Экспериментальное и численное исследование влияния покрытия на характеристики ветрового потока между соседними зданиями / Д. Гельбашц, Э. Буйрук, Б. Сахин, К. Карабулут, Д. Е. Алнак // 8-я международная конференция передовых технологий. – Элязыг, 2017. – С. 1648–1655.
10. 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 // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 1. – С. 9–18.
11. 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 / Воронежский государственный технический университет. – Воронеж, 2023. – № 1 (36). – С. 63–74.
12. Темам, Р. Уравнения Навье – Стокса. Теория и численный анализ / Р. Темам. – 2-е изд. – Москва : Мир, 1981. – 408 с. – Текст : непосредственный.



13. Седов, Л. И. Механика сплошной среды. Том 1. – Москва : Наука, 1973. – 536 с. – Текст : непосредственный.
14. Седов, Л. И. Механика сплошной среды. Том 2. – Москва : Наука, 1973. – 584 с. – Текст : непосредственный.
15. ГОСТ Р 56728-2015. Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие здания : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2015 г. N 1892-ст : дата введения 2016-05-01. – Москва, 2016. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127225?ysclid=ll26t4nimg19403749>. – Текст : электронный.
16. EN 1991-1-4:2005+A1. Eurocode 1: action on structure. Part 1-4 General actions – Wind actions (2010) / Building Civil Engineering Sector Board, UK. – 2010.
17. Прогноз погоды. – URL: https://world-weather.ru/archive/russia/nizhny_novgorod/ / World weather.

SHILOV Sergey Sergeevich, postgraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; KASHKINA Ekaterina Sergeevna, student; KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics

NUMERICAL SIMULATION AND OPTIMIZATION OF THE ORIENTATION OF A HIGH-RISE BUILDING BY THE WIND ROSE

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7(831) 430-54-96;
e-mail: sergey.shilov.1997@mail.ru; kashkina_ekaterina_s@mail.ru

Key words: numerical simulation, boundary conditions, initial conditions, pressure isofields, wind rose .

The article describes procedure for numerical simulation of wind flows in the Ansys CFX software package. Special attention is paid to the initial and boundary conditions of the computational model. The profile of wind speed and turbulence parameters are taken as initial conditions. The results of numerical modeling in the form of wind pressure isofields on the building surface with different model orientations are presented. The obtained results are processed and analyzed, and a conclusion is made about the most favorable orientation of the building taking into account the wind rose for the given type of terrain.

REFERENCES

1. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya [Loads and impacts] : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.01.07.85* (Izmeneniya 1,2) : data vved. 04.06.17 / Minregion Rossii. – Moscow, 2016. IV, 80 p.: il. + 8 maps. (Svod pravil).
2. EN 1994-1-4. (1994). Eurocode 1: Basic design and structure actions. Part 1: "Basic design". CN, 232. British Standards, loads for buildings – Part 2: Code of Rules on Wind loads (1995). Building Civil Engineering Sector Board, UK. – 1994 ; 1995.
3. Poddaeva O. I., Kubenin A. S., Churin P. S. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika [Architectural and construction aerodynamics] : uchebnoe posobie / Mosk. gos. stroit. un-t. – Moscow: NIU MGSU, 2015. – 88 p.
4. Retter E. I. Arkhitekturno - stroitel'naya aerodinamika [Architectural and constructional aerodynamics] : monografiya. Moscow: Stroyizdat. 1984. – 294 p.



5. Simiu E., Skanlan R. *Vozdeystviya vetra na zdaniya i sooruzheniya*. – Moscow: Stroyizdat, 1984. – 360 p.
6. Mikhaylova M. K., Dalinchuk V. S., Bushmanova A. V., Dobrogorskaya L.V. *Proektirovanie, stroitelstvo i ekspluatatsiya vysotnykh zdaniy s uchytom aerodinamicheskikh aspektov [Design, construction and operation of high-rise buildings taking into account aerodynamic aspects] / Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures] / Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet Petra Velikogo. Saint-Petersburg, 2016 – № 10 (49). – P. 59–74.*
7. Mohamed A., White K., Watkins S. *Sravnenie chislennogo issledovaniya vliyaniya vystupov zdaniya na aerodinamiku s rezultatami aerodinamicheskikh ispytaniy [A Numerical Study of the Updrafts over a Building, with Comparison to Wind-Tunnel Results] / 15-y seminar Avstraliyskogo obshchestva vetroenergetiki. – Sidney, 2012. – P. 4.*
8. Lamps B. B., Shilov S. S., Khazov P. A. *Chislennoe i fizicheskoe modelirovanie vetrovykh potokov na bolsheprolyotnoe pokrytie / Vestnik Mosk. gos. stroit. un-ta. – Moscow, 2022. – № 1. – P. 21–31.*
9. D. Gelbashts, Buyruk E., Sakhin B., Karabulut K., Alnak D. E. *Eksperimentalnoe i chislennoe issledovanie vliyaniya pokrytiya na kharakteristiki vetrovogo potoka mezhdu sosebnimi zdaniyami [Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Rooftop on the Flow Characteristic Between Two Buildings] / 8-ya mezhdunarodnaya konferentsiya peredovykh tekhnologiy. – Elyazyg, 2017. – P. 1648–1655.*
10. 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.*
11. Satanov A. A., Simonov A. V., Khazov P. A. *Opredelenie aerodinamicheskikh kharakteristik bolsheprolyotnogo zdaniya eksperimentalnymi metodami [Determination of the aerodynamic characteristics of a large-span object by experimental methods] / Stroitel'naya mekhanika i konstruktzii [Structural mechanics and construction] / Voronezh. gos. tekhnich. un-t. – Voronezh, 2023. – № 1 (36). – P. 63–74.*
12. Temam R. *Uravneniya Nave – Stoksa. Teoriya i chislenny analiz [Navier-Stokes equations. Theory and numerical analysis] / 2-e izd. – Moscow : Mir, 1981. – 408 p.*
13. Sedov L. I. *Mekhanika sploshnoy sredy [Continuum mechanics]. Vol. 1. – Moscow: Nauka, 1973, 536 p.*
14. Sedov L. I. *Mekhanika sploshnoy sredy [Continuum mechanics]. Vol. 2. – Moscow: Nauka, 1973, 584 p.*
15. GOST R 56728-2015. *Zdaniya i sooruzheniya. Metodika opredeleniya vetrovykh nagruzok na ograzhdayushchie zdaniya [Buildings and structures. Methodology for determining wind loads on enclosing buildings] : utv. i vved. v deystvie Prikazom Fed. agentstva po tekhn. regulir. i metrologii ot 19 noyabrya 2015 g. N 1892-st : data vved. 2016-05.01. – Moscow, 2016. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127225?ysclid=1l26t4nimg19403749>.*
16. EN 1991-1-4:2005+ A1. *Eurocode 1: action on structure. – Part 1-4 General actions – Wind actions (2010). Building Civil Engineering Sector Board, UK. – 2010.*
17. *Prognoz pogody [Weather forecast]. – URL : [https://world-weather.ru/archive/russia/nizhny_novgorod/] / World weather.*

© С. С. Шилов, Е. С. Кашкина, П. А. Хазов, 2023

Получено: 13.06.2023 г.