

Для цитирования: Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Осадчий А.С., Труфанова Е.В. Расчет зданий сложной геометрической формы на ветровые воздействия. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (2):8-17. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-8-17

For citation: Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Osadchiy A.S., Trufanova E.V. Calculation of buildings with complex geometric shapes for withstanding wind impact. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (2):8-17. (In Russ.) DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-8-17

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК 531.25. 624.04

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-8-17

РАСЧЕТ ЗДАНИЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НА ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Агаханов Э.К.¹, Кравченко Г.М.², Осадчий А.С.³, Труфанова Е.В.⁴

¹Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия

²⁻⁴Донской государственный технический университет,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1, Россия

¹e-mail: elifhan@bk.ru; ²e-mail: Galina.907@mail.ru,

³e-mail: Osadch96@mail.ru, ⁴e-mail: El.Trufanova@mail.ru

Резюме. Цель. В статье рассматривается возможность моделирования ветрового потока при расчете зданий сложной геометрической формы с целью определения параметров и зон комфортности. **Метод.** Проведены исследования влияния ветрового воздействия на здание цилиндрической формы с использованием программного комплекса Ansys 15.0. **Результат.** Для расчета ветрового потока и определения зон комфортности разработана конечно-элементная модель здания музея современного искусства сложной геометрической формы. Расчетная область выбрана таким образом, чтобы ее границы не оказывали влияние на результаты счета. Максимальная скорость ветра принята 44 м/с на высоте 10 м от уровня земли, как максимальная в районе г. Новороссийска. Геометрия земной поверхности вокруг модели считалась плоской. Поверхность здания предполагалась гладкой, поверхность окружающей местности принята шероховатой с параметром шероховатости 0,1 м. При численном моделировании варьировались параметры ориентирования здания относительно розы ветров. Разработаны три варианта расчетных моделей с варьированием расположения здания и его геометрических характеристик. Первый вариант - модель здания вытянута вдоль оси X, второй вариант - модель здания ориентирована вдоль оси Y острым углом контура, третий вариант - модель здания располагается вдоль оси Y и ориентирована тупым углом внешнего контура здания. Результаты расчета здания цилиндрической формы на ветровое воздействие соответствуют СП 20.13330.2011. Применяя численное моделирование ветрового потока, определены параметры и зоны комфортности здания сложной геометрической формы. Выявлено несоответствие нормативных характеристик объекта при расчете на ветровую нагрузку с результатами исследований. **Вывод.** Даны рекомендации по выбору наиболее оптимального расположения здания музея с учетом параметров комфортности и наибольшего давления ветра: геометрическая форма наружного контура влияет на расположение зон пониженной комфортности; резкое изменение границ наружного контура приводит к возникновению повышенного давления и скорости ветра и, как следствие, изменение направления вихревых потоков; при моделировании ветрового воздействия для зданий сложной геометрической формы необходимо применять метод конечных элементов; при проектировании зданий и сооружений следует избегать резкого изменения контура объекта.

Ключевые слова: метод конечных элементов, конечно-элементная модель, ветровая нагрузка, ветровое воздействие, ветровые потоки, параметры комфортности, зоны комфортности

PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE MECHANICS

Elifkhan K. Agakhanov¹, Galina M. Kravchenko², Artem S. Osadchiy³, Elena V. Trufanova⁴

¹Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala 367026, Russia,

²⁻⁴Don State Technical University,
1 Gagarina square, Rostov-on-Don 344000, Russia,

¹e-mail: elifhan@bk.ru; ²e-mail: Galina.907@mail.ru,

³e-mail: Osadch96@mail.ru; ⁴e-mail: El.Trufanova@mail.ru

CALCULATION OF BUILDINGS WITH COMPLEX GEOMETRIC SHAPES FOR WITHSTANDING WIND IMPACT

Abstract Objectives The possibility of modeling wind flow during the design of buildings with complex geometric shapes in order to determine comfort parameters and zones is considered. **Methods** The investigation of the impact of wind on a cylindrical building was carried out using Ansys 15.0 software. **Results** A finite element model of a modern art museum building having a complex geometric shape is developed for the calculation of the wind flow and the definition of comfort zones. The computational region is chosen such that its borders do not affect the calculation results. The maximum wind speed is assumed to be 44 m/s at an altitude of 10 m from the ground level, this being the maximum in the region of Novorossiysk. The topography of the earth's surface around the model was considered flat. The surface of the building was assumed to be smooth while the surface of the surrounding terrain was assumed to be rough with a roughness parameter of 0,1 m. The parameters of the building orientation relative to the wind rise were varied during the numerical modeling. Three variants of computational models with varying building location and its geometric characteristics are developed. In the first variant, the building model is stretched along the X-axis; in the second variant, the acute angle of the building model's contour is oriented along the Y-axis; in the third variant, the building model is located and oriented along the Y-axis with its obtuse angle of the external contour of the building. The calculation results of a cylindrical building for wind impact correspond to SP 20.13330.2011. The comfort parameters and zones of a building having complex geometric shape are defined by means of numerical modeling of the wind flow. The discrepancy between the object's normative characteristics and the research results is revealed during the calculation of the wind load. **Conclusion** The recommendations are given for choosing the optimal location of the museum building, taking into account the comfort parameters and the greatest wind pressure; the geometric shape of the outer contour affects the location of the zones of reduced comfort; a sharp change in the boundaries of the outer contour leads to the appearance of increased pressure and wind speed and, as a consequence, a change in the direction of the vortex flows; it is necessary to apply the finite element method when modeling the wind impact for buildings of complex geometric shapes; sudden changes in the object's contour should be avoided when designing buildings and structures.

Keywords: finite element method, finite element model, wind load, wind impact, wind flows, comfort parameters, comfort zones

Введение. В современном строительстве редко проектируются здания простых архитектурных форм. При моделировании ветровых воздействий на здания сложной геометрической формы невозможно использовать стандартные расчетные формулы из СП 20.13330.2011. Расчет высотных зданий необходимо выполнять на ветровые воздействия и определять параметры

комфортности [1-4]. Однако даже при небольшой высоте зданий, в силу геометрических характеристик конструкций, параметры ветровых воздействий могут значительно меняться.

Постановка задачи. Постановка задачи заключается в моделировании ветрового потока при расчете зданий сложной геометрической формы, исследовании параметров и зон комфортности [5-7]. Для решения поставленной задачи необходимо предварительно провести исследование ветрового воздействия на здание цилиндрической формы [8]. При этом расчетная область выбрана таким образом, чтобы ее границы не оказывали влияния на результаты счета. При численном моделировании варьировались параметры ориентирования здания относительно розы ветров.

Методы исследования. Выполнено исследование влияния ветрового потока на здание цилиндрической формы в программном комплексе Ansys 15.0 [9-10] (рис. 1).

Исходные данные: диаметр исследуемого здания цилиндрической формы 30 м; скорость ветра 44 м/с на высоте 10 м от уровня земли; поверхность здания гладкая; параметр шероховатости земли 0,1 м.

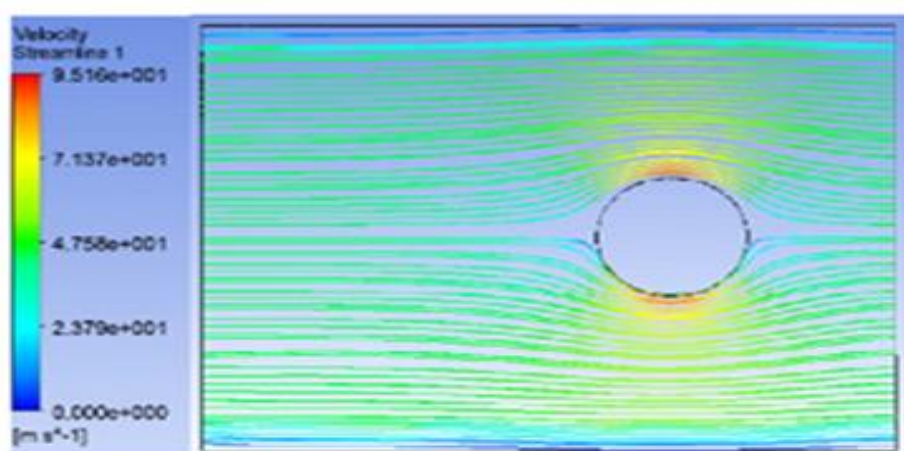


Рис.1. Изолинии ветрового потока при расчете здания цилиндрической формы
Fig.1. The isolines of the wind flow in the calculation of a building of cylindrical shape

Анализ расчета здания цилиндрической формы на ветровое воздействие показал, что расчетные значения давления и скорости ветра составляют соответственно 0,99 кПа и 46 м/с (рис.2).

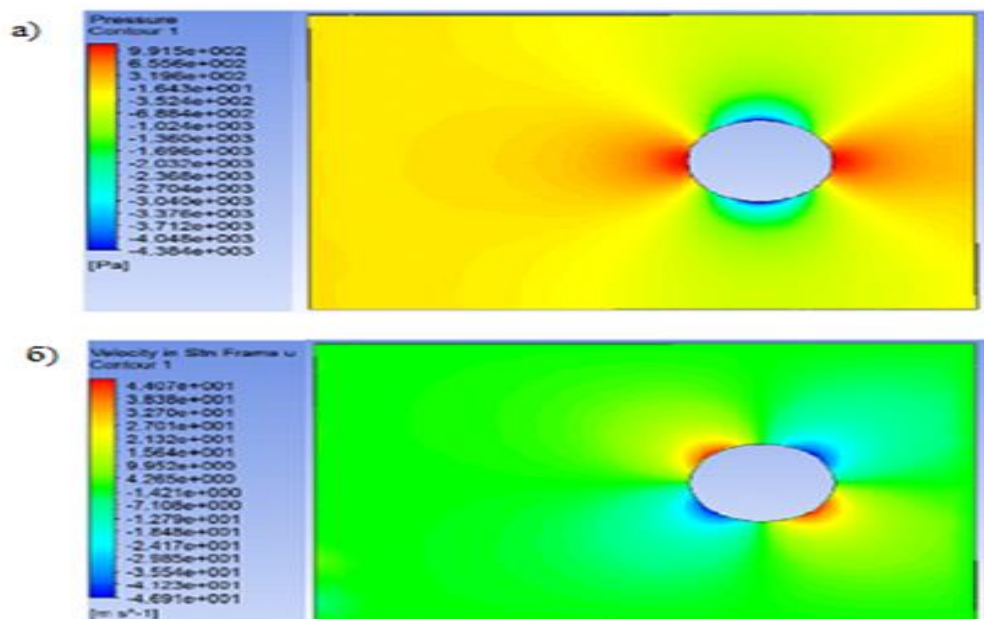


Рис.2. а) изополя давления ветра; б) изополя скорости ветра
Fig.2. a) isopole of wind pressure; b) isosphere of wind speed

В соответствии с СНКК и СП 20.13330.2011 выполнены расчеты ветрового потока на цилиндрическое здание. Полученные результаты давления 1 кПа и 0,85 кПа, скорости ветра 44 м/с и 37,5 м/с хорошо коррелируются с результатами численного эксперимента. Для исследования влияния ветрового потока на здание сложной геометрической формы выполнено моделирование здания музея современного искусства в г.Новороссийск [11-12].

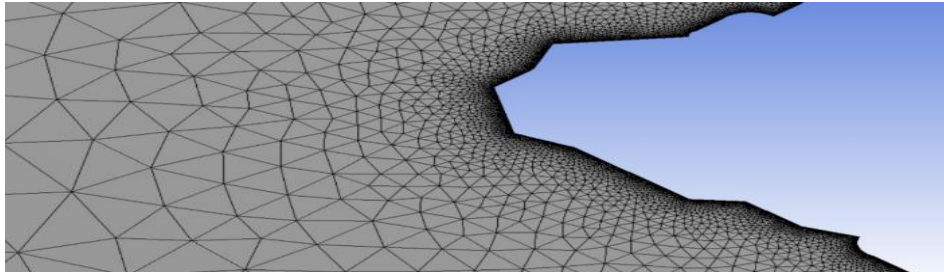


Рис.3. Фрагмент конечно-элементной схемы
Fig.3. Fragment of the finite element circuit

Разработана объемно-пространственная модель здания в Revit 17, которая была интегрирована в один объект и экспортирована в модуль Geometry комплекса Ansys 15.0.

В результате получена контурная плоская модель здания, окруженная сплошной воздушной средой размерами 240x100м. После перенесения в модуль Mesh, авторами была построена конечно-элементная схема, представленная графически на рисунке 3.

Исходный контур здания перестроен путем сглаживания острых углов и изломов. Создан логарифмический профиль здания, соответствующий исходному профилю в приземном слое атмосферы [13-16].

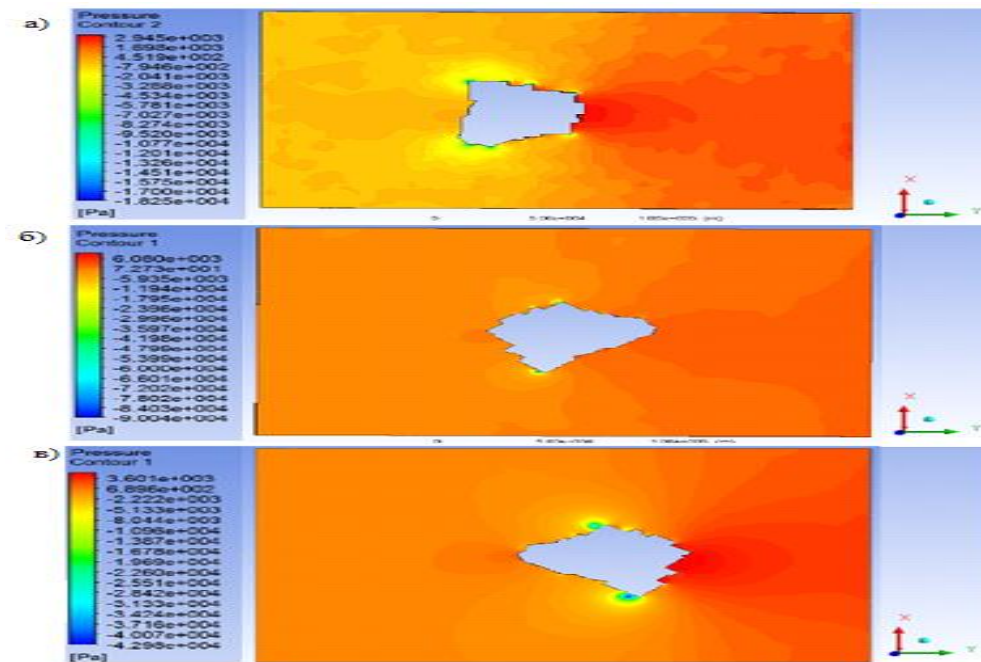


Рис.4. Изополя давлений ветра для трех вариантов моделей здания:

а) вдоль оси X; б) вдоль оси Y острым углом контура; в) вдоль оси Y тупым углом контура

Fig.4. Wind pressure isoforms for three versions of building models:

а) along the X axis, б) along the Y axis with an acute angle of the contour; в) along the Y axis by the angle of the contour

В расчетной схеме выполнено сгущение конечно-элементной сетки вблизи здания с целью повышения точности исследования. Типовым конечным элементом расчетной схемы выбран изопараметрический треугольный конечный элемент. Разработаны три варианта расчетных моделей с варьированием расположения здания и его геометрических характеристик. Первый вариант - модель здания вытянута вдоль оси X, второй вариант - модель здания ориентиро-

вана вдоль оси Y острым углом контура, третий вариант - модель здания располагается вдоль оси Y и ориентирована тупым углом внешнего контура здания.

Обсуждение результатов. На рисунке 4 представлены изополя давлений ветра для трех вариантов моделей здания.

Максимальные значения давления ветра 6,1 кПа соответствуют расчету второго варианта модели здания. Концентрация зон появляется в сечениях резкого изменения границы внешнего контура, остальная область соответствует давлению ветра 2,6 кПа. В первом и третьем варианте наблюдается резкое изменение давления фронтальной поверхности.

Изополя скоростей ветра для трех вариантов моделей здания представлены на рисунке 5.

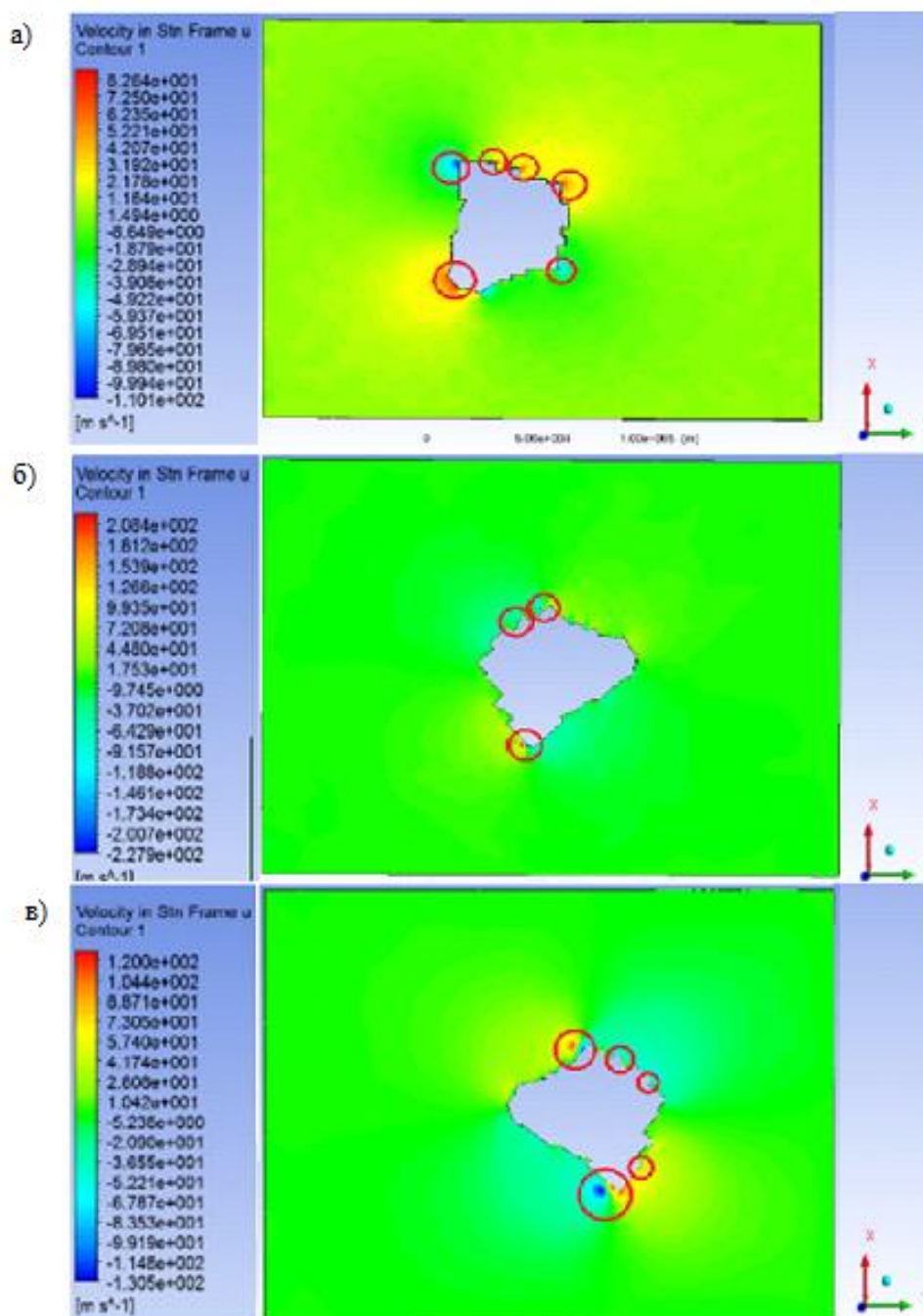


Рис.5. Изополя скоростей ветра для трех вариантов моделей здания:

а) вдоль оси X; б) вдоль оси Y острым углом контура; в) вдоль оси Y тупым углом контура

Fig.5. Wind speed isoforms for three variants of building models:

а) along the X axis; б) along the axis of the acute angle of the contour; в) along the Y axis by the angle of the contour

Максимальные значения скорости ветра составляют соответственно 83 м/с, 208 м/с и 120 м/с. На рисунке 5 выделены особенные точки, в которых происходит резкое изменение скорости ветра, так называемые «завихрения» - зоны пониженной комфортности.

В первом варианте модели здания ветровой поток меняет не только значение, но и направление практически в противоположную сторону. Зоны пониженной комфортности совпадают с резким изменением геометрии наружного контура здания [17-19].

Во втором варианте наблюдается равномерное распределение ветрового потока.

Наименее благоприятным вариантом комфортности является третий. Зоны пониженной комфортности расположены на противоположных границах здания, скорость завихрений увеличивается на 20%.

Результаты исследования ветровых потоков показаны на рисунке 6.

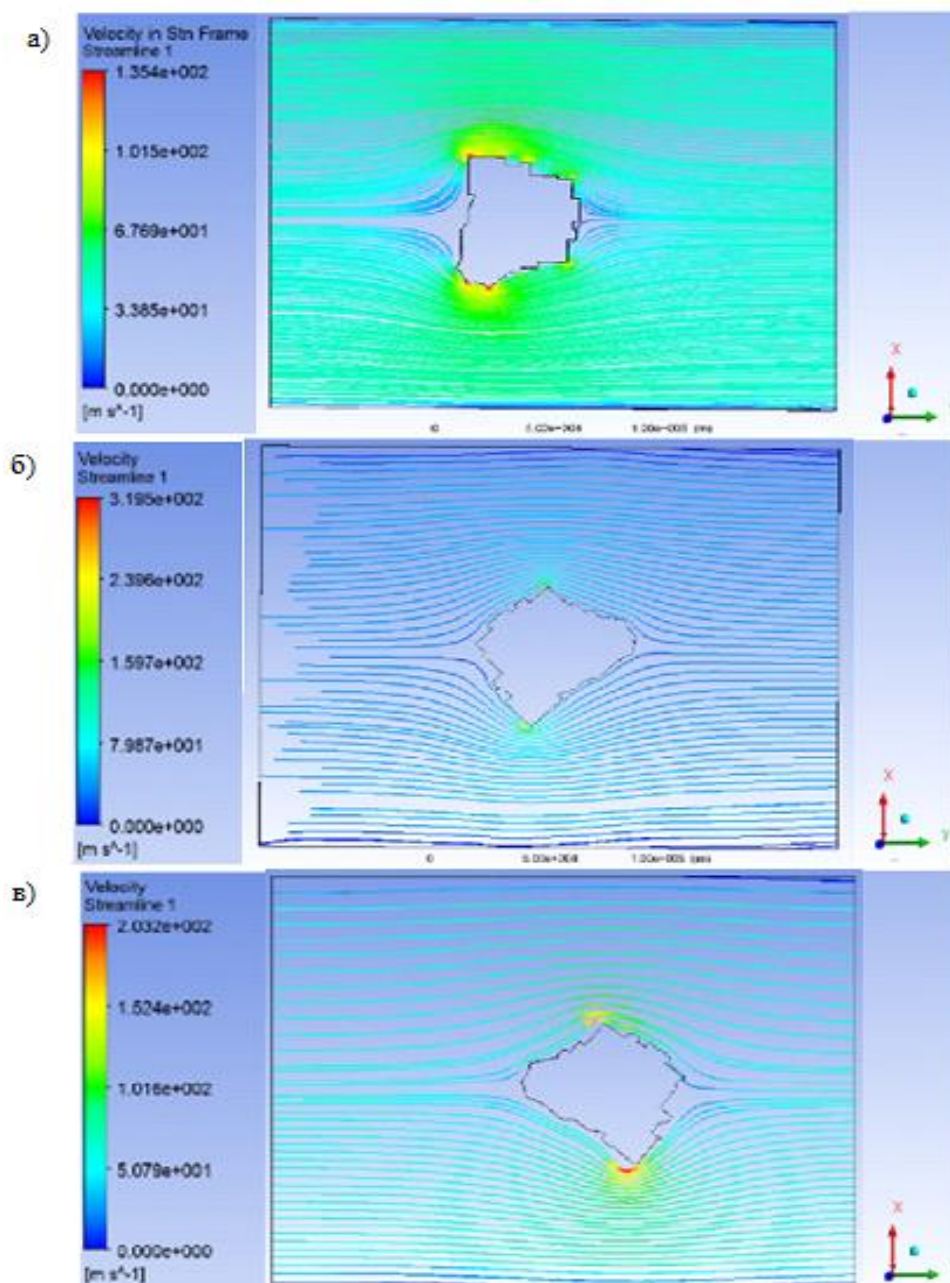


Рис. 6. Ветровые потоки для разных вариантов моделей здания:

а) вдоль оси X; б) вдоль оси Y острым углом контура; в) вдоль оси Y тупым углом контура

Fig.6. Wind flows for different building model variants:

a) along the X axis; b) along the axis of the acute angle of the contour; c) along the Y axis by the angle of the contour

Наиболее неблагоприятные зоны образуются в местах пересечения и неравномерного наложения воздушных потоков в исследуемой области.

Анализ результатов численного эксперимента позволяет сделать вывод о том, что при моделировании внешнего контура здания необходимо избегать резкого изменения геометрической формы сооружения [20]. С учетом результатов численного моделирования разработана наиболее оптимальная геометрическая форма наружного контура здания для уменьшения негативных воздействия ветрового потока (рис. 7).

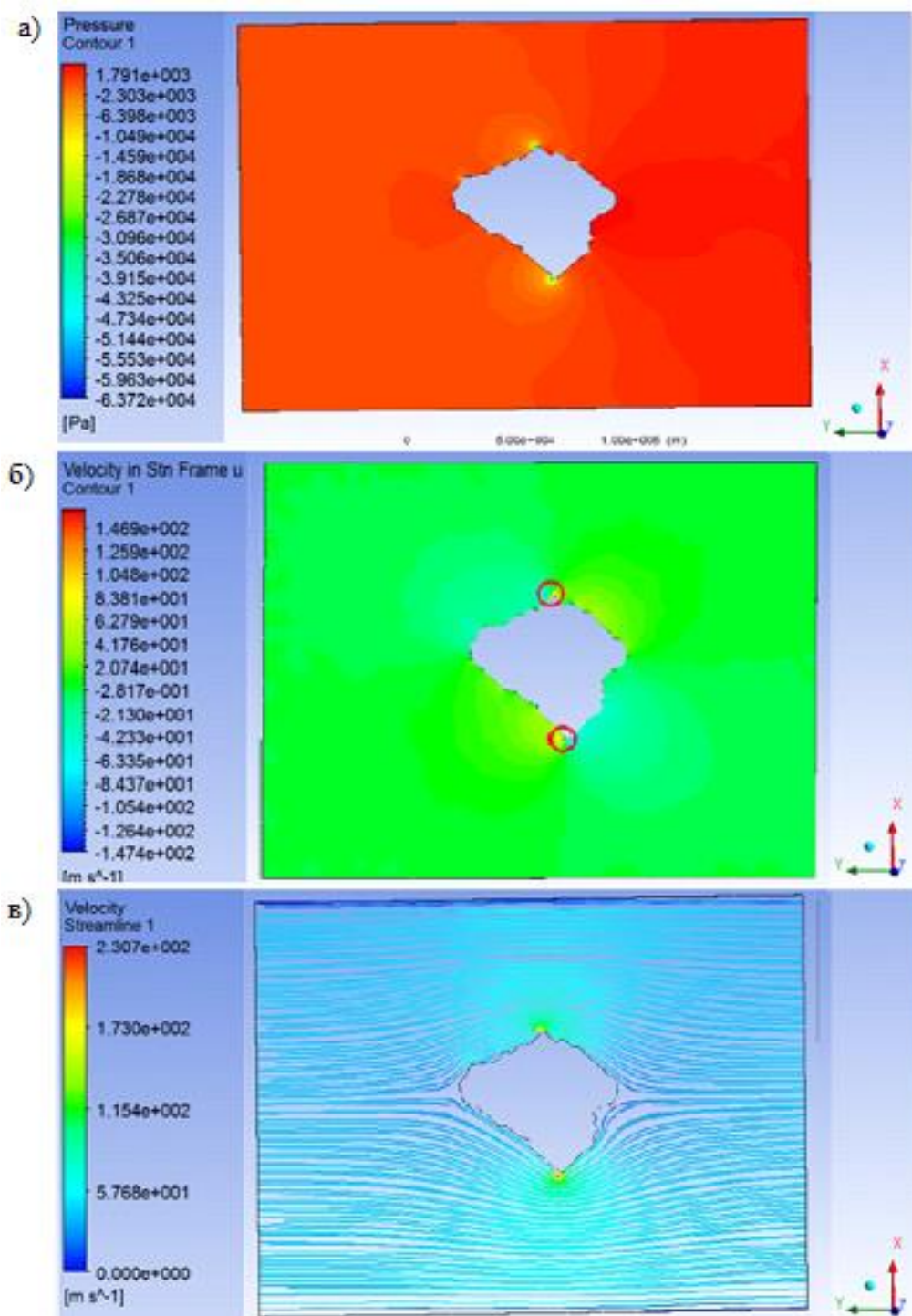


Рис.7. Оптимальная геометрическая форма наружного контура здания:
а) изополя давлений; б) изополя скоростей ветра; в) ветровые потоки
Fig.7. Optimal geometric shape of the external contour of the building:
a) isopole of pressures; b) the isosphere of wind speeds; c) wind currents

Для оптимальной модели максимальные значения давления ветра 1,8 кПа, скорость ветра уменьшается на 25% по сравнению со вторым вариантом модели здания.

Анализ полученных данных показал, что в связи с улучшением геометрической формы наружного контура здания давление на конструкцию распределяется равномерно, линии ветрового потока плавно идут вокруг здания, не создавая наслоений и завихрений.

Вывод. Результаты численного моделирования ветрового потока при расчете зданий сложной геометрической формы позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Расчет здания цилиндрической формы на ветровое воздействие совпадает с результатами счета по нормативным требованиям.
2. Геометрическая форма наружного контура влияет на расположение зон пониженной комфортности. Резкое изменение границ наружного контура приводит к возникновению повышенного давления ветра, скорости ветра и, как следствие, к изменению направления вихревых потоков.
3. При моделировании ветрового воздействия для зданий сложной геометрической формы необходимо применять метод конечных элементов. При проектировании зданий и сооружений по возможности следует избегать резкого изменения контура объекта.
4. Рекомендуется ориентировать здание по розе ветров, создавая обтекаемость объема воздушными потоками.

Библиографический список:

1. Леденев В.В. Высотные здания: учеб. пособие / В.В. Леденев; Тамбовск. гос. техн. ун-т. - Тамбов, 2014. – С. 67-89.
2. Николас П.И. Определение влияния ветровых нагрузок на антенное сооружение. Инженерный вестник Дона. – №2 2008 г.
3. Ретгер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1984. - С. 113-141
4. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М., 1984.- С. 25-37.
5. Агаханов Г.Э. Решение задач механики деформируемого твердого тела с использованием фиктивных расчетных схем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.38 – №3 – 2015. –С. 8-15.
6. Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.42 – № 3. – 2016. – С. 8-15.
7. Агаханов Э.К. Развитие комплексных методов в механике деформируемого твердого тела. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.28 – № 2. – 2013. - С. 39-45.
8. Fedorov A.V., Fedorova N.N., Danilov M.N., Valger S.A. Computations of wind environment and shock wave impact on the civil engineering constructions with computer Aid engineering methods // Proc. of 2012 Joint Symp. NSC — SB RAS. Taiwan — Russia Bilateral Symp. on Civil Eng. Taipei, Taiwan: R.O.C., 2012. P. 2–30.
9. Басов К.А. ANSYS. Справочник пользователя. М. Издательство «ДМКПресс». 2014.- С. 124-133.
10. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. М. Издательство «ДМК Пресс». 2016. – С. 96-118.
11. Engel H. Structure Systems. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1967, pp. 23-24.
12. Сидоров В.Н., Ахметов В.К. Математическое моделирование в строительстве. М.: Издательство «Издательство Ассоциации строительных вузов». 2007.- С.21-25.
13. Nguyen D.T.et al. Finite element methods. Parallel-Sparse Statics and Eigen-Solutions Springer, 2008 – 554 pp.147-153.
14. Yakushev Vladimir. Analysis of numerical methods for building structures in STARK ES. ABSE-IASS-2011 Symposium, London, 20 - 23 September, 2011, pp.54-56.
15. P.Solin. Partial Differential Equations and the Finite Element Method (A JOHN WILEY & SONS, INC, 2007 Т 499 pp.109-111.
16. Трушин С.И. Метод конечных элементов. Теория и задачи. М. Издательство «Издательство Ассоциации строительных вузов». 2008.– С. 52-61.

17. Lutz L.A. Analysis of Stress in Concrete Hear a Reinforcing Bar Due To Bond and Trans-verse. ACI Joarnal, 1979, no.10, pp.12-15.
18. Nilsen A.H. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by the Finite Element Method. ACI Joarnal, 1968, vol.65, no.9, pp.6-70.
19. Simbirkin V. Analysis of Reinforced Concrete Loadbearing Systems of Multistorey Build-ings. Modern Building Materials, Structures and Techniques. CD-ROM Proceedings of the 8th Inter-national Conference, Vilnius, May 19-21, 2004, pp.98-99.
20. Акаев А. И., Магомедов М.Г., Ханмагомедов М.А. Принципы оптимального планирования экспериментально-теоретических исследований строительных конструкций. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.37 – №2. – 2015. – С. 92-98.

References:

1. Ledenev V.V. Vysotnye zdaniya: ucheb.posobie. Tambov: Tambovsk. gos. tekhn. un-t; 2014. S. 67-89. [Ledenev V.V. High-rise Buildings: A Tutorial. Tambov: Tambov State Technical University; 2014. P. 67-89. (in Russ.)]
2. Nikolas P.I. Opredelenie vliyaniya vetrovykh nagruzok na antennoe sooruzhenie. Inzhenernyy vestnik Dona. 2008; 2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/67>. [Nikolas P.I. Definition of wind load influence onto antenna buildings. Engineering journal of Don. 2008; 2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/67>. (in Russ.)]
3. Retter E.I. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika. M: Stroyizdat; 1984. S. 113-141. [Retter E.I. Architectural – building aerodynamics. Moscow: Stroyizdat; 1984. P. 113-141. (in Russ.)]
4. Simiu E., Skanlan R. Vozdeystvie vetra na zdaniya i sooruzheniya. M.; 1984. S. 25-37. [Simiu E., Skanlan R. Wind impact onto buildings and constructions. Moscow; 1984. P. 25-37. (in Russ.)]
5. Agakhanov G.E. Reshenie zadach mekhaniki deformiruemogo tverdogo tela s ispol'zovaniem fiktivnykh raschetnykh skhem. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2015; 38(3): 8-15. [Agakhanov G.E. Solving problems of deforming solid state mechanics using fictitious computational schemes. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2015; 38(3): 8-15. (in Russ.)]
6. Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. Regulirovanie parametrov sobstvennykh kolebaniy prostranstvennogo karkasa zdaniya. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016; 42(3): 8-15. [Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. Regulation of self-induced vibration parameters of building space framework. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 42(3): 8-15. (in Russ.)]
7. Agakhanov E.K. Razvitie kompleksnykh metodov v mekhanike deformiruemogo tverdogo tela. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2013; 28(2):39-45. [Agakhanov E.K. Development of combined methods for deforming solid state mechanics. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2013; 28(2):39-45. (in Russ.)]
8. Fedorov A.V., Fedorova N.N., Danilov M.N., Valger S.A. Computations of wind environment and shock wave impact on the civil engineering constructions with computer Aid engineering methods. Proc. of 2012 Joint Symp. NSC — SB RAS. Taiwan — Russia Bilateral Symp. on Civil Eng. Taipei, Taiwan: R.O.C. 2012. P. 2–30.
9. Basov K.A. ANSYS. Spravochnik pol'zovatelya. M.: Izdatel'stvo “DMKPress”; 2014. S. 124-133. [Basov K.A. ANSYS. User guide. Moscow: “DMKPress”; 2014. P. 124-133 (in Russ.)]
10. Basov K.A. ANSYS dlya konstruktorov. M.: Izdatel'stvo “DMK Press”; 2016. S. 96-118. [Basov K.A. ANSYS for designers. Moscow: Izdatel'stvo “DMK Press”; 2016. P. 96-118. (in Russ.)]
11. Engel H. Structure Systems. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt; 1967. P. 23-24.
12. Sidorov V.N., Akhmetov V.K. Matematicheskoe modelirovanie v stroitel'stve. M.: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov; 2007. S.21-25. [Sidorov V.N., Akhmetov V.K. Mathematical modeling in construction. Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov; 2007. P.21-25. (in Russ.)]
13. Nguyen D.T.et al. Finite element methods. Parallel-Sparse Statics and Eigen-Solutions. Springer; 2008. P. 147-153.
14. Yakushev V. Analysis of numerical methods for building structures in STARK ES. ABSE-IASS-2011 Symposium. London; 2011. P.54-56.
15. Solin P. Partial Differential Equations and the Finite Element Method. A JOHN WILEY & SONS, INC; 2007. Vol. 499 P.109-111.

16. Trushin S.I. Metod konechnykh elementov. Teoriya i zadachi. M.: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov: 2008. S. 52-61. [Trushin S.I. Finite Element Method. Theory and problems. Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov: 2008. P. 52-61. (in Russ.)]
17. Lutz L.A. Analysis of Stress in Concrete Hear a Reinforcing Bar Due To Bond and Trans-verse. ACI Journal. 1979; 10:12-15.
18. Nilsen A.H. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by the Finite Element Method. ACI Journal. 1968; 65(9): 6-70.
19. Simbirkin V. Analysis of Reinforced Concrete Loadbearing Systems of Multistorey Buildings. Modern Building Materials, Structures and Techniques. CD-ROM Proceedings of the 8th International Conference. Vilnius: 2004. P.98-99.
20. Akaev A. I., Magomedov M. G., Khanmagomedov M. A. Printsipy optimal'nogo planirovaniya eksperimental'no-teoreticheskikh issledovaniy stroitel'nykh konstruksiy. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2015; 37(2):92-98. [Akaev A. I., Magomedov M. G., Khanmagomedov M. A. Optimized planning principles of experimental-theoretic investigations of building constructions. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2015; 37(2):92-98. (in Russ.)]

Сведения об авторах:

Агаханов Элифхан Керимханович - профессор кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов, доктор технических наук, профессор.

Кравченко Галина Михайловна - профессор кафедры технической механики, кандидат технических наук, доцент, академия строительства и архитектуры.

Труфанова Елена Васильевна - доцент кафедры технической механики, кандидат технических наук, академия строительства и архитектуры.

Осадчий Артем Сергеевич – студент, академия строительства и архитектуры.

Information about the authors:

Elifkhan K. Agakhanov – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Automobile Roads, Basements and Foundations.

Galina M.Kravchenko – Cand. Sci. (Technical), Assoc.Prof., Department of Technical Mechanics, Academy of Building and Architecture.

Elena V. Trufanova – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Technical Mechanics, Academy of Building and Architecture.

Artem S.Osadchiy – Student, Academy of Building and Architecture.

Конфликт интересов.

Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 30.05.2017.

Received 30.05.2017.

Принята в печать 18.06.2017.

Accepted for publication 18.06.2017.