



УДК 624.04

**АНАЛИЗ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА  
ЗДАНИЯ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ***Труфанова Е. В., Осадчий А. С.*

Донской государственный технический  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[El.Trufanova@mail.ru](mailto:El.Trufanova@mail.ru)[Osadch96@mail.ru](mailto:Osadch96@mail.ru)

Рассмотрено численное моделирование ветрового воздействия на здание сложной геометрической формы с использованием программного комплекса Ansys 15.0. Определены параметры давлений и скорости ветра, выполнено сравнение полученных результатов с данными СП 20.13330.2011 и сводом правил Краснодарского края. Выполнено исследование параметров и зон комфортности. Даны рекомендации по выбору оптимального расположения здания с учетом характеристик комфортности и давления ветра.

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

**Введение.** Одним из способов повышения надежности принимаемых проектных решений является правильный учет всех возможных нагрузок и воздействий на конструкции зданий или сооружений. В нормативной документации использованы стандартные расчетные формулы для определения ветровых воздействий на конструкции простых геометрических форм [1]. В современном строительстве практически любое сооружение является совокупностью различных сложных архитектурных форм. Вследствие этого моделирование ветровой нагрузки на несущие конструкции усложнено. Как показывает практика, даже при небольшой высоте здания, в силу его геометрических характеристик, параметры ветрового воздействия могут заметно изменяться [2].

Цели представленного исследования: изучение ветровых влияний на конструкцию здания; измерение параметров комфортности для различных частей конструкции и выделение характерных и наиболее неблагоприятных участков конструкции; сравнение показателей, полученных по результатам расчета, данных СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» и сводом правил отдельных регионов (в данном случае — Краснодарского края); корректирование геометрической формы здания и его расположения относительно «Розы ветров» с целью уменьшения влияния факторов ветровых воздействий на конструкцию; сравнение данных, полученных по результатам всех

UDC 624.04

**ANALYSIS OF WIND EFFECTS ON  
BUILDINGS OF COMPLEX SHAPE***Trufanova E. V., Osadchiy A. S.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[El.Trufanova@mail.ru](mailto:El.Trufanova@mail.ru)[Osadch96@mail.ru](mailto:Osadch96@mail.ru)

The article considers numerical modelling of wind effect on the building of complex geometric shape using Ansys 15.0 software. The parameters of pressure and wind speed are determined, the comparison of the obtained results with the data of SP 20.13330.2011 and the Building code of Krasnodar Krai is conducted. The research of the parameters and zones of comfort is carried out. The paper provides the recommendations on the choice of the optimal location of the building taking into account the characteristics of comfort and wind pressure.

**Key words:** finite element method, finite element model, wind load, wind effect, wind flows, comfort parameters, comfort zones.

расчетов [3].

**Основная часть.** Объект исследования — 2-х этажный музей современного искусства в г. Новороссийске. Здание выполнено по каркасно-монолитной схеме [4], сложной геометрической формы (рис. 1).



Рис. 1. Геометрия модели

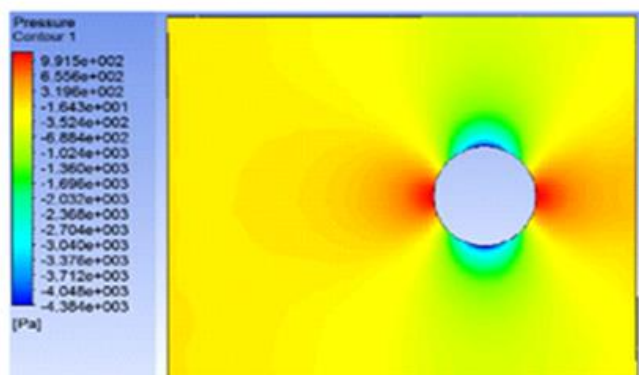
Исходными данными для построения профиля ветра выбраны величины ветрового давления для района «VII» и типа местности «B» (СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия») и «Особый ветровой район» (СНКК 20-303-2002). Исходный профиль перестроен для использования в расчетах из-за наличия изломов и несогласованности с шероховатостью земной поверхности [5]. Создан логарифмический профиль, соответствующий данному профилю в приземном слое атмосферы.

Для решения поставленной задачи выполнено моделирование пространственного каркаса здания методом конечных элементов в программном комплексе Ansys 15.0 [6]. Построена объемно-пространственная модель здания в Revit 17, которая объединена в один объект и перемещена в модуль Geometry, комплекса Ansys 15.0. В результате получена воздушная среда вокруг здания с размерами 240×100 метров. После перенесения в модуль Mesh и построения элементной сетки количество элементов составило 35 362.

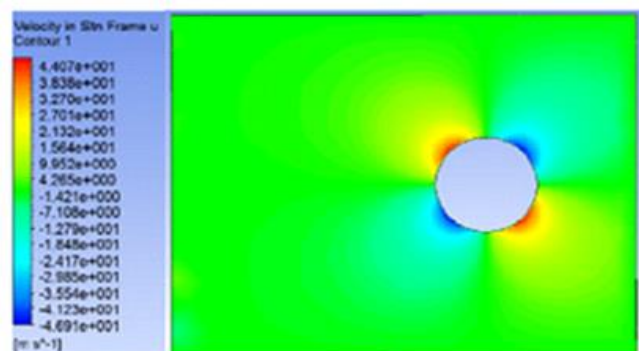
В расчетной модели учтены все возможные изменения скоростей ветра и выполнено сгущение сетки конечных элементов вблизи здания с целью повышения точности результатов исследования. Единичным элементом расчетной схемы выбран треугольный элемент с шестью степенями свободы [7].

Для исследования влияния расположения на местности и геометрической формы здания на ветровые потоки исследованы 5 моделей, включая 3 разных варианта расположения здания и одно контрольное измерение. Варьировались параметры расположения здания по розе ветров и геометрические формы сооружения [8].

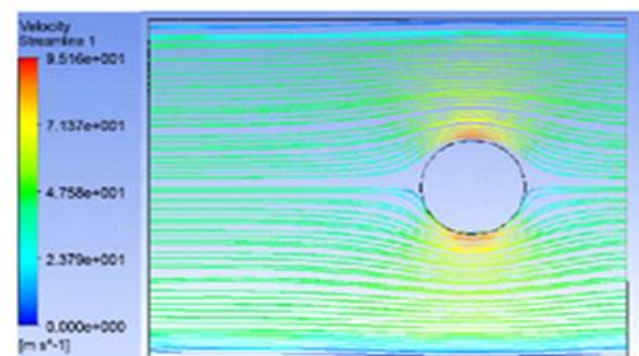
На первом этапе расчетов получены результаты контрольных измерений на конструкцию элементарной геометрической формы (цилиндра) (рис. 2).



а)



б)

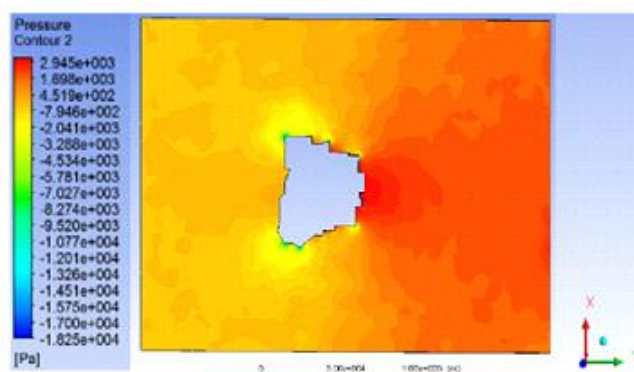


в)

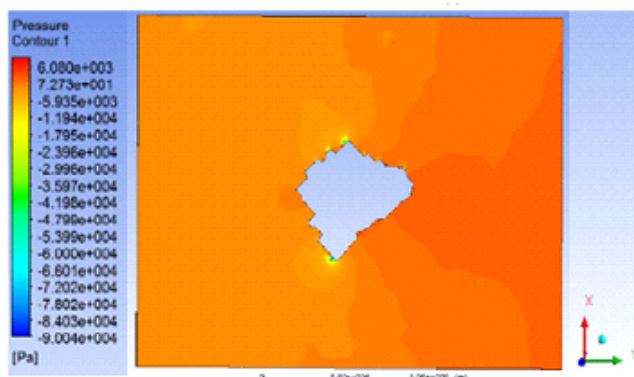
Рис. 2. Результаты контрольных измерений: а — изолинии ветрового потока; б — изополя давления ветра; в — изополя скорости ветра

**Обсуждение результатов.** Анализ полученных результатов расчета показал, что расчетные значения (0,99 кПа и 46 м/с) соответствуют данным, представленным в СП КК от 24 июня 2009 г (1 кПа и 44 м/с) и СП (0,85 кПа и 37,5 м/с).

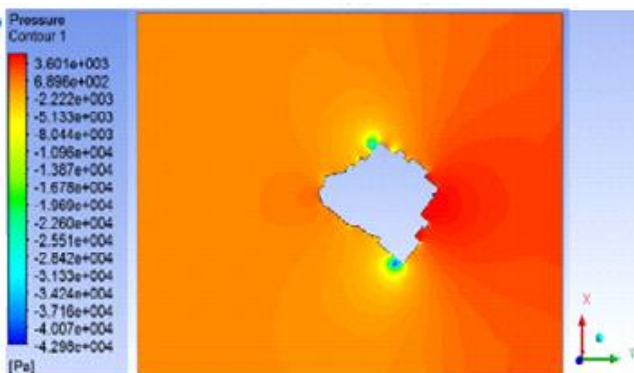
Выполнены расчеты трех вариантов моделей здания и получены следующие данные для давлений (рис. 3).



а)



б)



в)

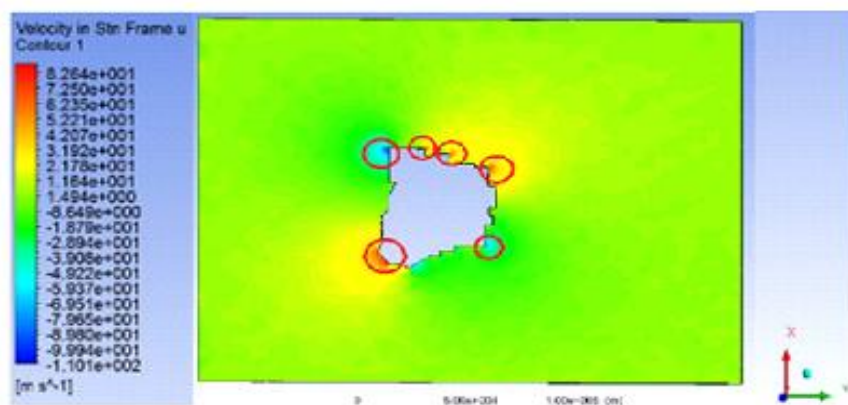
Рис. 3. Изополя давлений ветра для трех вариантов моделей здания:

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

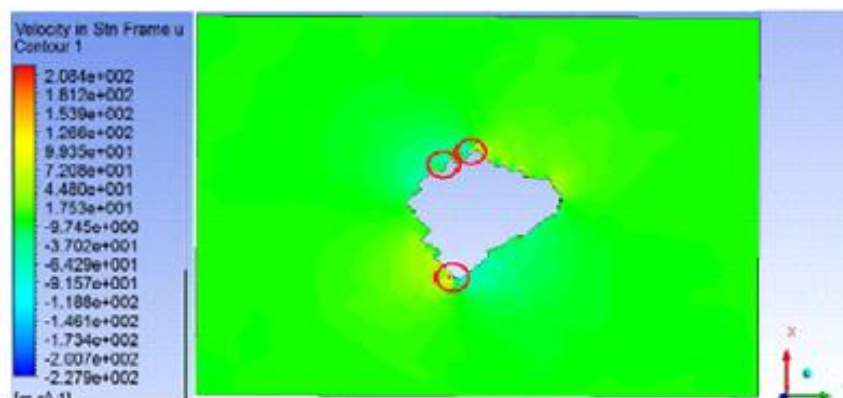
в) вдоль оси Y тупым углом контура

Анализ полученных изополей распределенных давлений показал, что максимальные значения для первого варианта расчетной модели равны 2,9 кПа, для второго — 6,1 кПа, для третьего — 3,6 кПа. Максимальные значения давлений получены в тех местах, где геометрия конструкции меняет свою форму в результате резкого перехода.

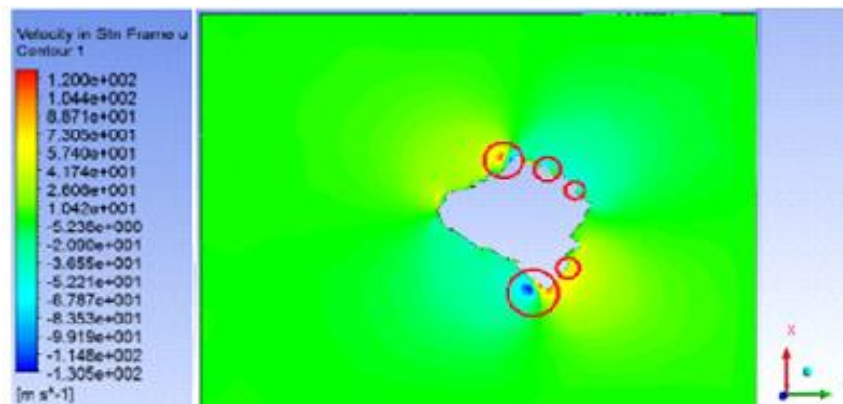
Максимальные значения распределенных скоростей ветра для первого варианта расчетной модели составили 83 м/с, для второго — 208 м/с, для третьего — 120 м/с (рис. 4).



а)



б)



в)

Рис. 4. 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

На рисунках выделены характерные точки, в которых происходит резкое изменение скоростей ветра, так называемые завихрения [9]. Это точки пониженной комфортности, число которых составляет 6 для первого случая, 3 для второго и 5 для третьего. Они совпадают с резкими изменениями геометрических форм конструкции. Наиболее неблагоприятные точки образуются в местах пересечения и наложения воздушных потоков в результате их неравномерного расположения в исследуемой области [10] (рис. 5).

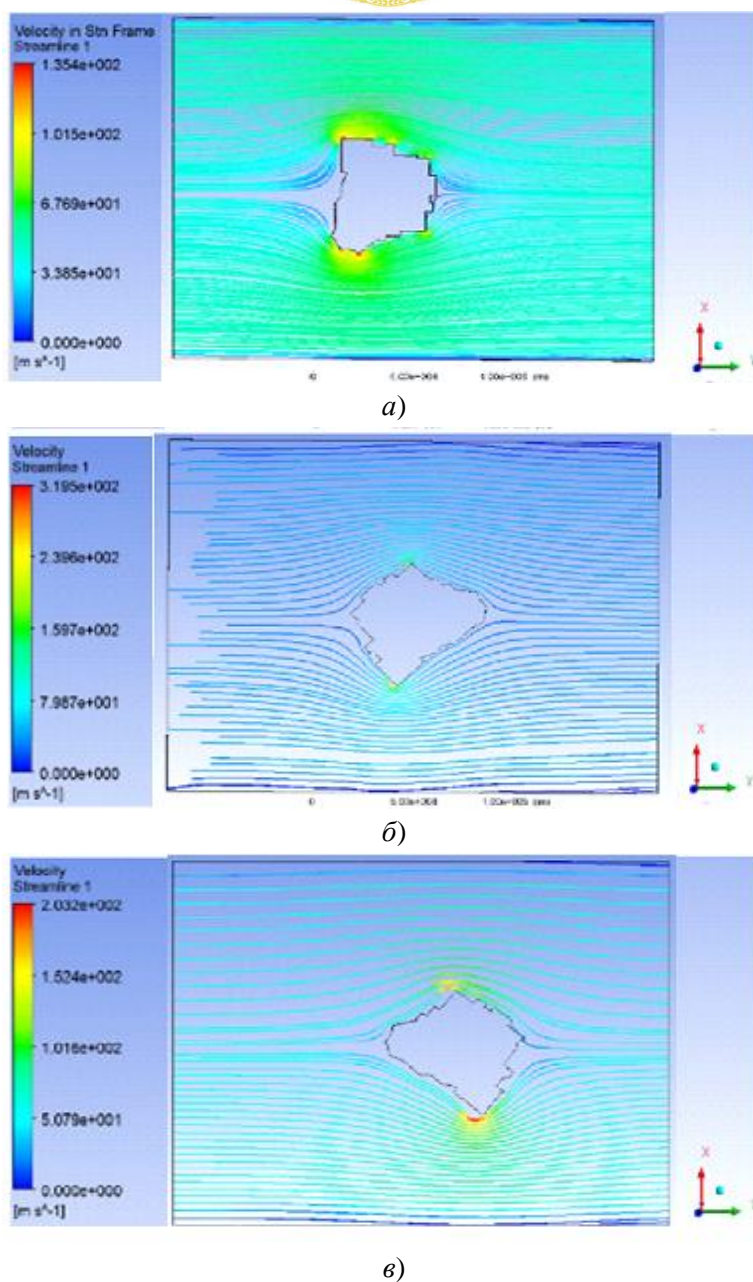
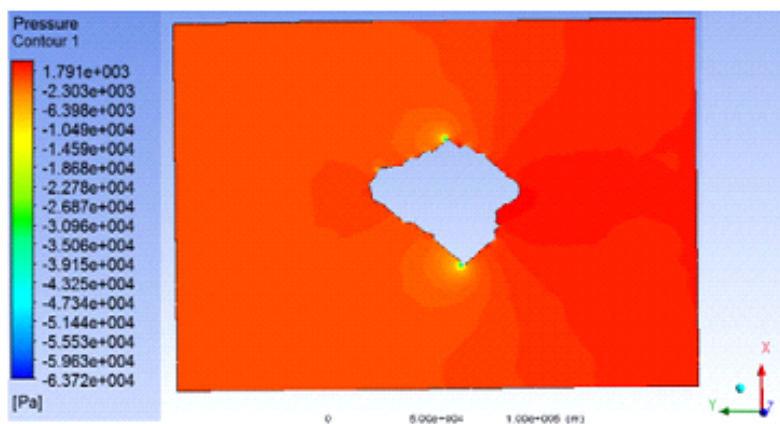
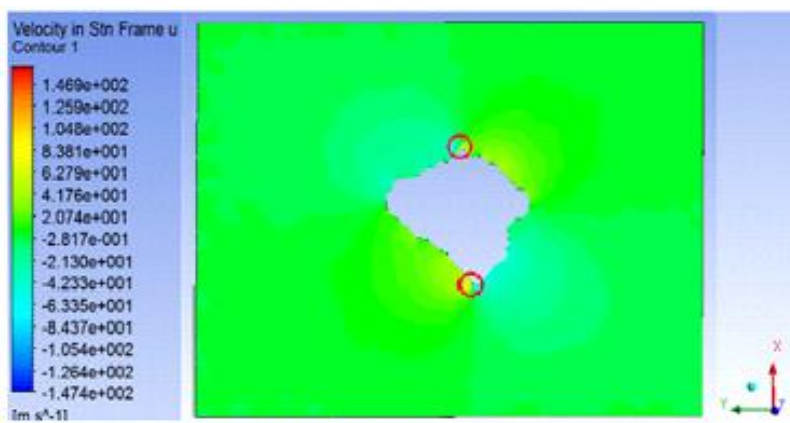


Рис. 5. Ветровые потоки для разных вариантов моделей здания:  
а) вдоль оси X; б) вдоль оси Y острым углом контура;  
в) вдоль оси Y тупым углом контура

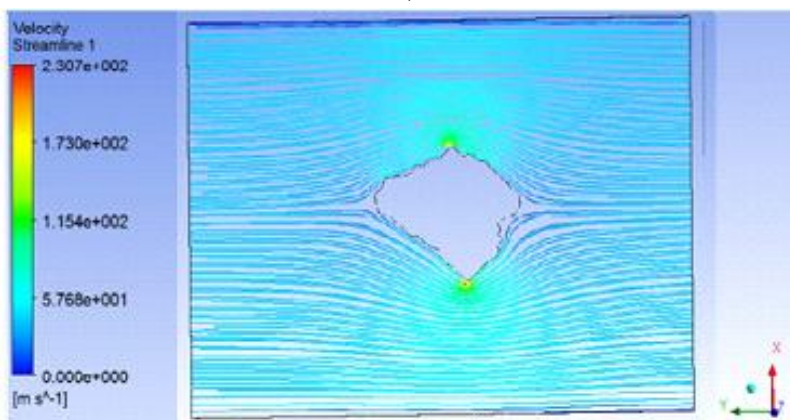
В соответствии с приведенными выше расчетами, выработана наиболее оптимальная геометрическая модель с целью снижения последствий от ветровых нагрузок на конструкцию здания (рис. 6).



а)



б)



в)

Рис. 6. Оптимальная геометрическая форма наружного контура здания:  
а) изополя давлений; б) изополя скоростей ветра; в) ветровые потоки

В связи с улучшением геометрической формы здания, давление на конструкцию распределяется равномерно, точки пониженной комфортности не так ярко выражены, как на предыдущих вариантах, а линии ветрового потока плотно идут вокруг здания, не создавая лишних наслоений [11].

**Вывод.** Результаты максимальных значений давления воздуха в границах исследуемой поверхности составляют 2,9 кПа для первого случая, 6,0 кПа для второго и 3,6 кПа для третьего. Это значения превышают показатели СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» (0,85 кПа) и СП

Краснодарского края (1 кПа). Контрольные измерения дали значение 0,99 кПа, что уже соответствует требованиям СП. Полученные результаты показывают различия в расчетах зданий простой и сложной геометрической формы, а также свидетельствуют о том, что применение данных СП без дополнительного моделирования приводит к неверным, заниженным значениям ветровых нагрузок, что может существенно влиять на эксплуатационную безопасность конструкций зданий.

При рассмотрении картин скоростей ветра, представленных на рис. 4, видны характерные участки, которые образуют дополнительные изменения потоков ветра, и, как следствие, завихрения, значительно повышающие скорость ветра в этих областях и уменьшающие показатели комфортности [12].

Для уменьшения их количества или полного устранения рекомендуется ориентировать здание по розе ветров, придерживаясь конструкций максимально вытянутых вдоль, а не против потоков воздуха, а также использовать формы, приближенные к окружностям при переходе одних частей здания в другие.

### Библиографический список

1. Леденев, В. В. Высотные здания: учеб. пособие / В. В. Леденев — ТГТУ. — Тамбов, 2014. — С. 67–89.
2. Николас, П. И. Определение влияния ветровых нагрузок на антенное сооружение [Электронный ресурс] / П. И. Николас // Инженерный вестник Дона. — 2008. — №2. — Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/67> (дата обращения: 15.14.2018).
3. Реттер, Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э. И. Реттер. — Москва : Стройиздат, 1984. — С. 113–141.
4. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. [перевод с англ. Б. Е. Маслова, А. В. Швецово; под ред. Б. Е. Маслова]. — Москва : Стройиздат, 1984. — 360 с.
5. 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.
6. Басов, К. А. ANSYS. Справочник пользователя / К. А. Басов. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 640 с.
7. Басов, К. А. ANSYS для конструкторов / К. А. Басов. — Москва : ДМК Пресс. — 2016. — С. 96–118.
8. Nguyen D.T.et al. Finite element methods. Parallel-Sparse Statics and Eigen-Solutions Springer, 2008 – 554 pp.147-153.
9. Yakushev Vladimir Analysis of numerical methods for building structures in STARK ES. ABSE-IASS-2011 Symposium, London, 20 - 23 September, 2011, pp.54-56.
10. P.Solin. Partial Differential Equations and the Finite Element Method (A JOHN WILEY & SONS, INC, 2007 T 499 pp.109-111.
11. Трушин, С. И. Метод конечных элементов. Теория и задачи / С. И. Трушин. — Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов. — 2008. — С. 52–61.
12. 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, May 19-21, 2004, pp.98-99.