

## Информационное моделирование каркаса здания сложной формы с использованием ПК Autodesk CFD

*Е.В. Труфанова, П.А. Демьянов, В.В. Серяков, А.Н. Карнута*

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В статье рассмотрено информационное моделирование каркаса здания сложной формы в плане. Для построения геометрии использована программа Dymato для Autodesk Revit. Основной целью было достижение равномерной цветовой карты давления при обдуве здания с применением имитационного моделирования в ПК Autodesk CFD.

Метод исследования – численный (метод конечных элементов). Использованы программный комплекс ЛИРА-САПР. Для выбранной формы здания и корректировки ее конструктивной схемы для достижения надежности и экономичности использован метод конечных элементов. Проведен анализ элементов конструкций объекта на действие ветровых нагрузок с учетом пульсационной составляющей ветровой нагрузки с целью совершенствования принятых конструктивных решений.

**Ключевые слова:** информационное моделирование, метод конечных элементов, каркас здания, нодовая система, модальный анализ, формы колебаний.

Развитие технического прогресса, появление новых материалов и увеличение вычислительных мощностей ЭВМ открывают возможность для проектирования зданий и сооружений более сложной формы и конструктивных решений. Перед проектировщиком ставятся задачи по уточнению поведения высотных зданий со сложной архитектурой на динамические воздействия. Методы автоматизации создания моделей ускоряют процесс разработки проекта и позволяют реализовать подход вариантного проектирования. В настоящее время методы динамического расчета пространственных сооружений для многоэтажных зданий разработаны еще недостаточно полно, что объясняется, прежде всего, большой сложностью рассматриваемых механических моделей [1,2].

Объектом исследования - 29-ти этажное офисное здание в г. Ростов-на-Дону. Конструктивная схема здания – монолитный железобетонный каркас с металлическими связями по периметру.

В качестве формообразующей здания выбрана фигура «трикветр». Данный символ был распространен среди кельтских народов северной

Европы, также встречались предметы культуры, украшенные данным символом на раскопках Великого Новгорода XI века. Эта фигура, состоящая из трех дуг окружности одинакового радиуса, широко используется в геральдике.

Для создания геометрии здания применялись средства автоматизации построения геометрии без подчинения четкому математическому описанию поверхности. Для реализации построения геометрии использовалась программа Dynamo для Autodesk Revit. Основной целью было достижение равномерной цветовой карты давления при обдуве здания с применением имитационного моделирования в ПК Autodesk CFD. Изначально форма представляла собой призму, выдавленную из полученного контура фигуры (рис.1а).

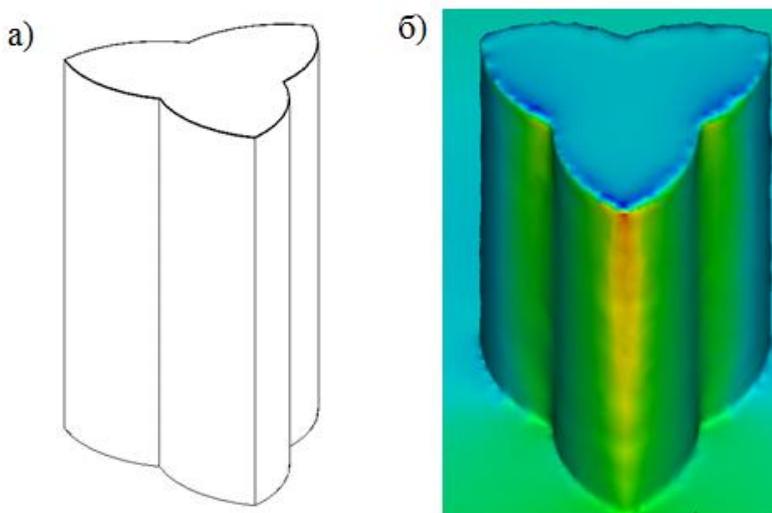


Рис. 1. – Первый вариант исследуемой формы:  
а) форма прямой призмы; б) области давления

Путем постепенной разработки и тестирования различных вариаций форм обнаружена негативная особенность – возникновение знакопеременных областей давления в «карманах» пресечения дуг лепестков (рис. 1б). В процессе поиска решения данного негативного фактора было принято

решение о шахматном вращении каждого из этажей, угол которого подчиняется гиперболическому закону (рис. 2а).

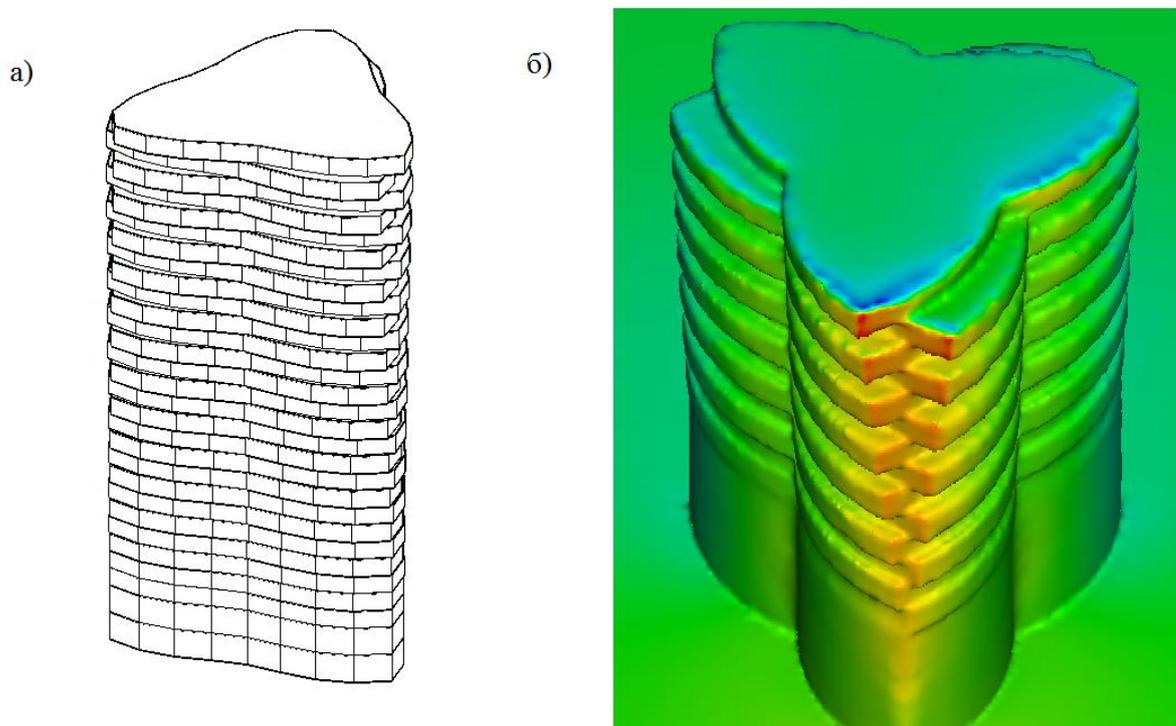


Рис. 2. – Второй вариант исследуемой формы:  
а) форма с поворотными этажами; б) области давления

Вследствие данного решения, появились ребра-направляющие, которые выравнивали эпюры ветрового давления, а также за счёт получившихся прерывистых кромок уменьшило концентрации давления на гранях здания (рис. 2б).

Для уменьшения действия давления на верхние этажи здания, а также для уменьшения консольных свесов кривизна здания приведена к эпюре ветрового давления [3-5].

Стремление к аэродинамической форме создало ряд проблем. Первая проблема – это расположение лестничных клеток, а именно устройство незадымляемых клеток и требования к освещению лестничных клеток. Предпринято решение – вписать по всей высоте в форму трикветра

окружность равную окружности вписанной в равнобедренный треугольник на основе которого строится вся фигура.

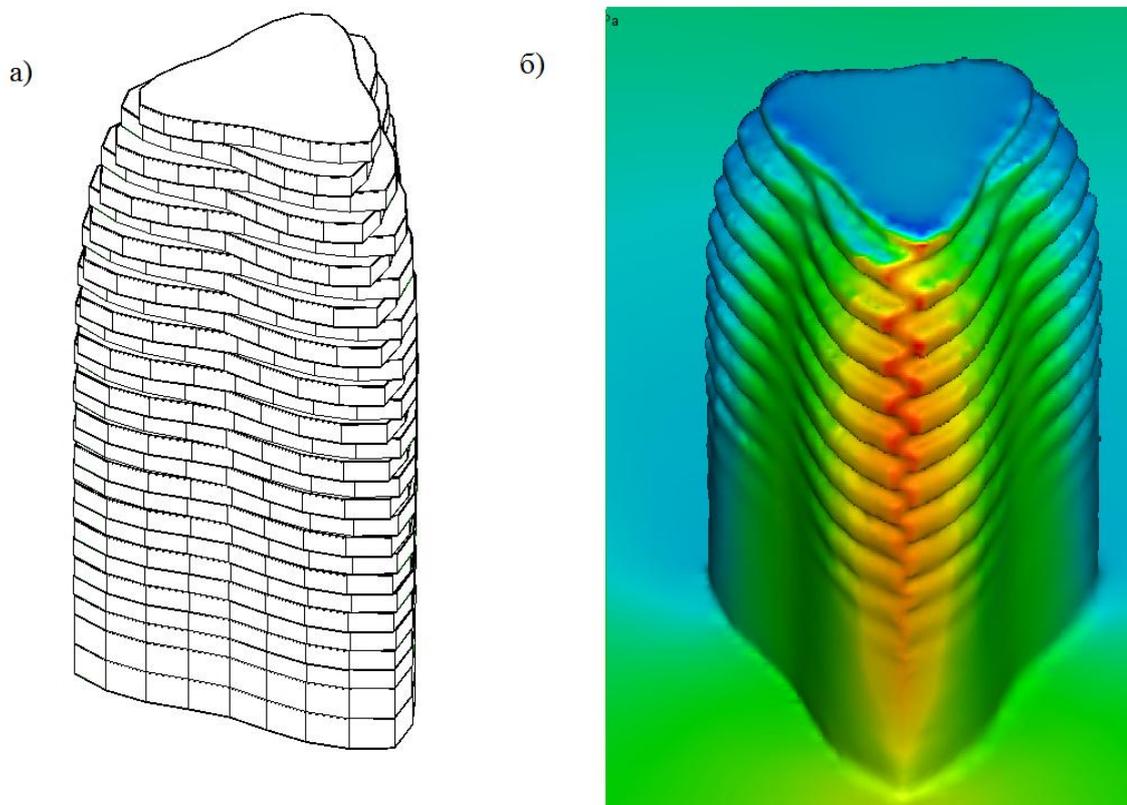


Рис. 3. – Третий вариант исследуемой формы:

а) изменение размера этажа с изменением высоты; б) области давления

Для выполнения требований по защите здания от прогрессирующего обрушения разработан алгоритм, для построения раскосных поясов из металлического профиля, которые будут увеличивать жесткость и связность дисков этажей за счет перераспределения нагрузок в металлическом каркасе при совместной работе металла и железобетона [6,7].

Разработан алгоритм автоматизированного параметрического построения каркаса здания сложной формы на языке Python. Алгоритм частично исполнен в нодовой системе программы информационного моделирования Autodesk Revit Dynamo. Задачи, которые не могли быть реализованы в исполнении визуального программирования, были

реализованы с использованием рукописного программного кода на языке программирования Python (рис. 4).



Рис. 4. – Результаты выполнения алгоритма построения каркаса здания

В ПК ЛИРА-САПР методом конечных элементов выполнен модальный анализ, определен спектр 20 частот и форм собственных колебаний для окончательной расчетной модели здания [8,9]. На рис. 5 представлены результаты динамического расчёта. Собственная частота модели по первым трем формам колебаний меньше предельного значения собственной частоты для III ветрового района  $f_{lim} = 1,2$  Гц.

Анализ свободных колебаний показал, что первые две формы для модели являются поступательными, третья форма – изгибно-крутильной, что удовлетворяет нормативным рекомендациям [10].

Результатом исследования являются решения, удовлетворяющие нормам проектирования.

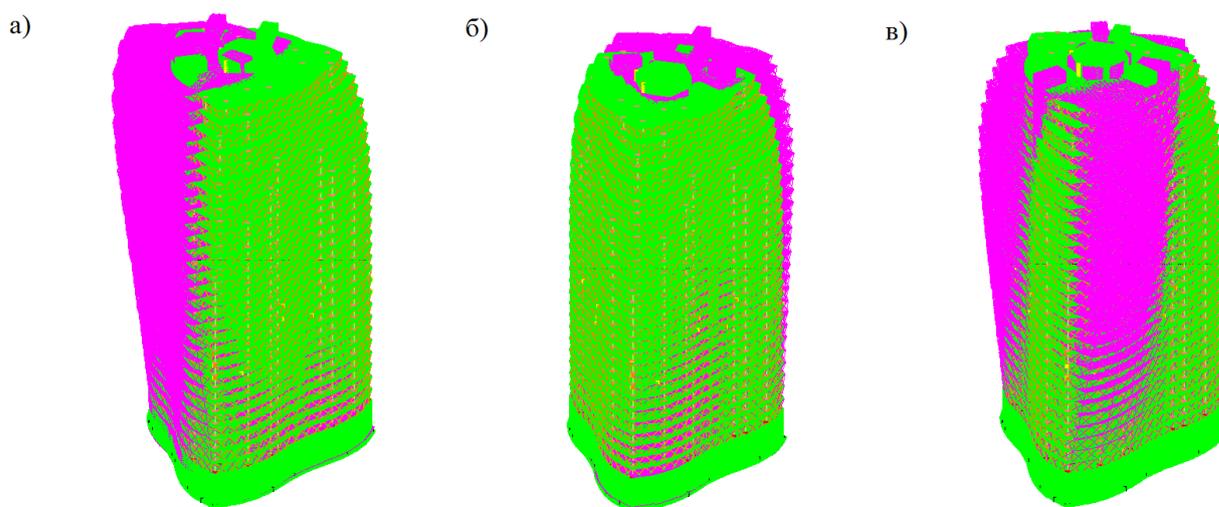


Рис. 5. – Формы колебаний: а) 1 форма – 0,475 Гц;  
б) 2 форма – 0,479 Гц; в) 3 форма – 1,189 Гц

Проанализировав результаты расчетов модели по напряженно-деформированному состоянию элементов каркаса сложной геометрической формы, динамическим характеристикам, максимальным перемещения узлов и параметрам зон комфортности приходим к выводу, что модель имеет жесткую конструкцию, демонстрирует приемлемые значения ускорений точек перекрытий и выполняет требования по частотам колебаний.

### Литература

1. Акимов П.Н., Золотов А.П. Численно-аналитические методы расчета строительных конструкций: перспективы развития и сопоставления. Журнал САПР и графика. 2005. №4. С.78-82.
2. 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. № 2. С. 8–17.



3. Николас П.И. Определение влияния ветровых нагрузок на антенное сооружение. Инженерный вестник Дона, 2008, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2008/67](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2008/67).
4. Гайджуров П. П., Володин В. А.. Расчет на прочность зоны сопряжения плиты перекрытия и колонны монолитного железобетонного каркаса методом конечных элементов . Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don) 2022. № 4. С. 296–305.
5. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Ладная Е.В. Рациональное проектирование элементов пространственного каркаса здания. Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3989/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3989/)
6. Clough R.W., Penzien J. Dynamics of Structures. Computer & Structure, Inc. Berkeley. USA. 2003. 752 p.
7. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Кущенко А.К., Быченко И.В. Особенности расчета на прогрессирующее обрушение каркаса уникального здания многофункционального комплекса. Инженерный вестник Дона, 2022, №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7889](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7889).
8. Bathe K.-J. Finite Element Procedures. K.-J. Bathe. New Jersey: Prentice Hall, 1996. pp. 10-12.
9. Сорока М.Д. Особенности оценки напряженно-деформированного состояния несущей системы 25-ти этажного монолитного здания. Естественные и инженерные науки. 2014. №1. С. 154-157.
10. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования. Инженерный вестник Дона, 2013. № 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707/).

### References

1. Akimov P.N., Zolotov A.P. Zhurnal SAPR i grafika. 2005. №4. pp.78-82.
-

2. Agaxanov E. K., Kravchenko G. M., Osadchij A.S., Trufanova E. V. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Texnicheskie nauki. 2017. № 2. pp. 8–17.
3. Nikolas P.I. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2008, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2008/67](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2008/67).
4. Gajdzhurov P. P., Volodin V. A. Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don) 2022. № 4. pp. 296–305.
5. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Ladnaya E.V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3989/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3989/)
6. Clough R.W., Penzien J. Dynamics of Structures. Computer & Structure, Inc. Berkeley. USA. 2003. 752 p.
7. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Kushhenko A.K., By`chenko I.V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2022, №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7889](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7889).
8. Bathe K.-J. Finite Element Procedures. K.-J. Bathe. New Jersey: Prentice Hall, 1996. pp. 10-12.
9. Soroka M.D. Estestvenny`e i inzhenerny`e nauki. 2014. №1. pp. 154-157.
10. Zy`ryanov V.V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2013. № 2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707/).

**Дата поступления: 15.11.2023**

**Дата публикации: 23.12.2023**