

Эволюция формообразования здания параметрической архитектуры с учетом аэродинамики

Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, М.В. Полетаев, Л.И. Пуданова

Донской государственной технической университет

Аннотация: В статье рассмотрено двухэтапное моделирование объекта параметрической архитектуры сложной параметрической формы. На первом этапе исследована эволюция формообразования аналитической поверхности, полученной вращением кривой Ламе в плоскости, перпендикулярной оси вращения, с учетом изменений интенсивности закругления углов формы в горизонтальной плоскости. Для решения задачи определения поверхности объекта параметрической архитектуры, устойчивой к аэродинамическому воздействию, на втором этапе проведено исследование винтовых параметрических поверхностей. Численный эксперимент с использованием метода конечных элементов в ПК ANSYS позволил построить новую аналитическую поверхность с различным углом закручивания плит перекрытий в виде суперэллипса по высоте уникального здания. Предлагаемая методика исследования и применения возможностей эволюции формообразования позволяет перейти к модернизации BIM технологий при проектировании уникальных зданий и сооружений.

Ключевые слова: параметрическая архитектура, эволюция формообразования, аэродинамика, метод конечных элементов, аналитические поверхности

Ветровое воздействие является одним из основных факторов, которому следует уделить особое внимание при проектировании высотных зданий. Ветровой поток может негативно воздействовать на здание и способствовать значительным деформациям каркаса. С точки зрения аэродинамики типовые здания, имеющие прямоугольное сечение в плане, являются неудачным конструктивным решением. В этом случае ветровые потоки с силой сталкиваются с поверхностью, ударяясь об углы здания и создавая дополнительную турбулентность. Это приводит к переменным нагрузкам на конструкцию каркаса здания.

Актуальной задачей при проектировании высотных зданий является определение формы здания, которая обеспечит аэродинамическую устойчивость на протяжении всего срока эксплуатации [1-3]. Для решения поставленной задачи проведено исследование эволюции формообразования объекта параметрической архитектуры [4, 5].

Объектом исследования выбрана аналитическая поверхность, образованная на основе геометрической кривой Ламе (суперэллипс), что является промежуточной формой между кругом и квадратом [6, 7]. Параметрическая форма аналитической поверхности записывается в виде:

$$x(\theta) = \pm a * \cos^{\frac{2}{u}} * \theta, \quad (1)$$

$$y(\theta) = \pm b * \sin^{\frac{2}{u}} * \theta, \quad (2)$$

$$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2},$$

где a , b – параметры, влияющие на размеры формы в плане; u – параметр, влияющий на закругление углов.

На первом этапе проведено исследование эволюции формообразования путем варьирования параметра u , то есть изменения интенсивности закругления формы (рис.1). Чем больше значение параметра u , тем меньше степень закругления формы.

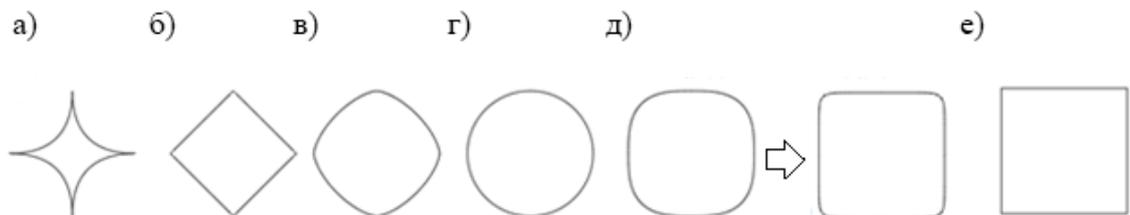


Рис. 1. Кривая Ламе с параметрами закругления:
а) $u=1/2$; б) $u=1$; в) $u=1,5$; г) $u=2$; д) $3 \leq u \leq 10$; е) $u=\infty$

На основании анализа полученных форм произведено моделирование аэродинамических воздействий на объекты, сформированные на основании аналитических поверхностей при варьировании параметра, влияющего на закругление углов $u=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, \infty$.

Проектируемые габариты объекта параметрической архитектуры в плане 50×50 м, следовательно, значения параметров для уравнений (1, 2) $a = 25$,

$b=25$.

Методом конечных элементов выполнено исследование зависимостей давления на поверхность объекта, скорости ветра и зон комфортности [8]. Моделирование ветрового воздействия осуществлено в ПК ANSYS с подмодулем Fluent. Исследованы направления ветровых потоков под углами 0° , 30° , 45° , скорость ветра на высоте 10 м принята 17 м/с в соответствии с СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.

Анализ результатов численного эксперимента показал, что давление ветрового потока возрастает от 1 075 Па при $u=2$ до 1 264 Па при $u=888$ (рис. 2).

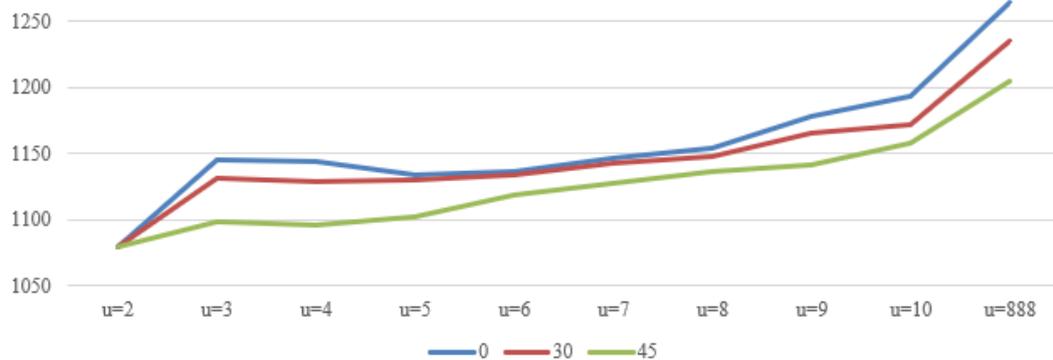


Рис. 2. – График зависимости давления (Па) от формы объекта при направлениях ветровых потоков под углами 0° , 30° , 45°

Адаптированная форма суперэллипса способствует тому, что воздушные массы плавно огибают здание. На первом этапе исследования эволюции формообразования установлен рациональный параметр закругления формы поперечного сечения объекта $u=5$, при котором скорость ветра достигает сорока метров в секунду, а аэродинамическое давление на поверхность составляет 1 134 Па. Распределение скоростей ветровых потоков представлено на рисунке 3.

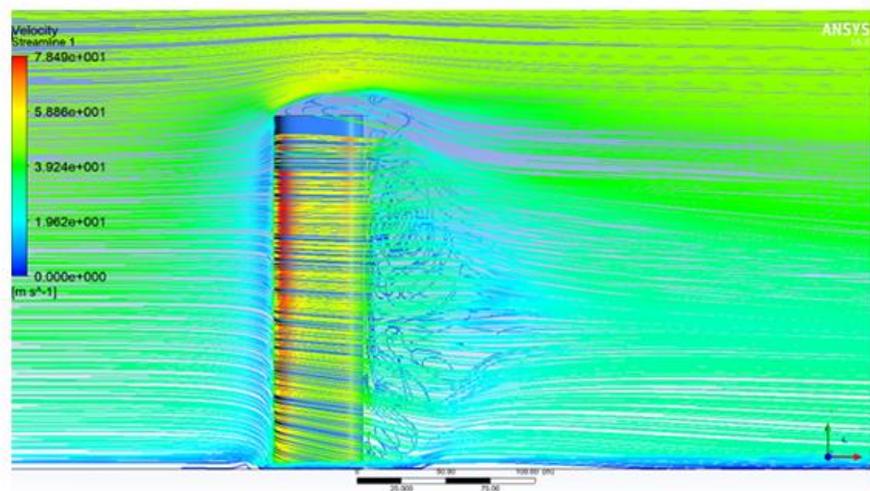


Рис. 3. – Распределение скоростей ветровых потоков плоскости XY

Очевидно, что лучший способ снизить ветровые нагрузки на здание – это придать ему форму, близкую к аэродинамически совершенной не только в плане, но и по высоте [8 - 10]. Плавно скрученная форма здания позволит потоку воздуха с разных сторон не сталкиваться с поверхностью, а мягко соскальзывать с образованием минимальных завихрений.

На втором этапе проведено исследование винтовых параметрических поверхностей, форма которых описывается в виде:

$$x = x(u^*, v^*) = (a^* + X)\cos u^* - Y\sin u^*, \quad (3)$$

$$y = y(u^*, v^*) = (a + X)\sin u^* - Y\cos u^*, \quad (4)$$

$$z = z(u^*) = u^*t, \quad (5)$$

где: X , Y – уравнения задания формообразующей; u^* , v^* – параметры отвечающие за поворот поверхности относительно центральной оси; a^* – параметр, отвечающий за траекторию движения от оси вращения; t – параметр, соответствующий длине траектории движения или высоте поверхности.

Закрученность сложной винтовой поверхности подбирается для высот до 100 м, от 100 до 150 м, от 150 до 200 м. Разработаны модели,

сформированные на основании аналитических поверхностей с углом закручивания плит перекрытий соответственно 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° , 360° .

В качестве эксперимента разработаны модели объекта параметрической архитектуры с различными углами поворота плит перекрытий. Установлено, что оптимальной формой является модель с углом поворота до высоты 100 м – 225° , от 100 до 150 м – 180° , от 150 до 200 м – 135° (рис. 4). Для данного объекта параметрической архитектуры давление ветрового потока составляет 1039 Па, скорость ветра 37 м/с, площадь зоны отрицательной комфортности 1 145 м².

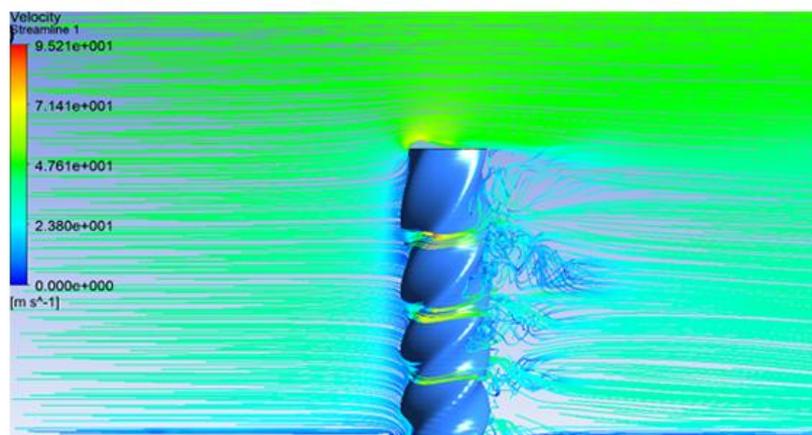


Рис. 4. – Изолинии скорости ветровых потоков плоскости XY для закрученной параметрической формы

В процессе исследования эволюции формообразования установлено, что при вариации угла закручивания относительно высоты здания давление ветрового потока возрастает до 1 249 Па при максимальном угле поворота 360° . Вместе с тем максимальная скорость ветра прослеживается при минимальном угле закручивания 90° и постепенно снижается с увеличением угла закручивания до 225° . При таком моделировании образуются реберные очертания аналитической поверхности, которые существенно разбивают аэродинамические потоки. Дальнейшее увеличение закручивания влечет за

собой как увеличение ветровых воздействий, так и значительный рост давления на поверхность. Графики зависимостей давления и скорости ветра от угла закручивания параметрических форм представлены на рисунке 5.

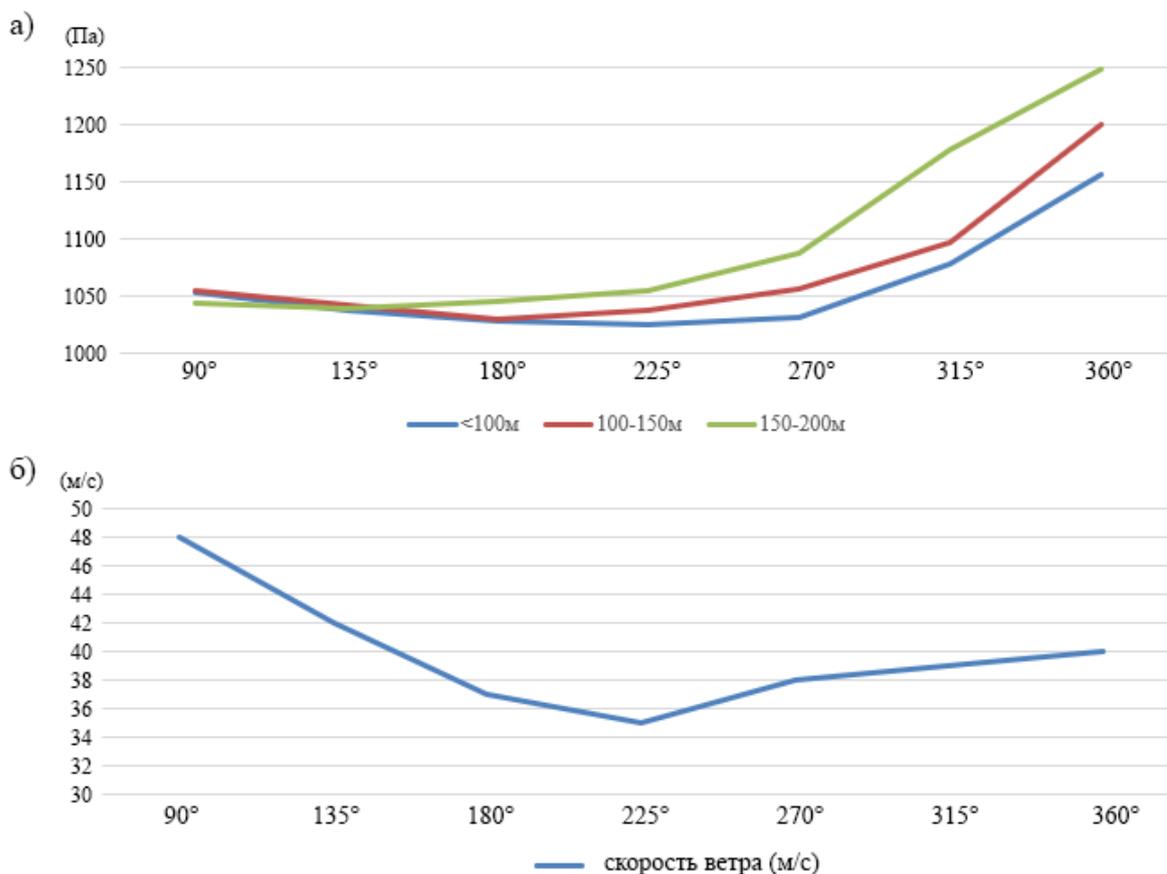


Рис. 5. – Графики зависимостей от угла закручивания (в градусах): а) давления (Па); б) скорости ветра (м/с)

Новая аналитическая поверхность с различным углом закручивания плит перекрытий в виде суперэллипса по высоте уникального здания построена на основании численного эксперимента с использованием метода конечных элементов в ПК ANSYS. Предложенная методика двухэтапного исследования эволюции формообразования объекта параметрической архитектуры позволяет проследить изменения от грубой прямоугольной формы к закругленной, а в последствии к закрученной оптимальной форме (рис. 6).

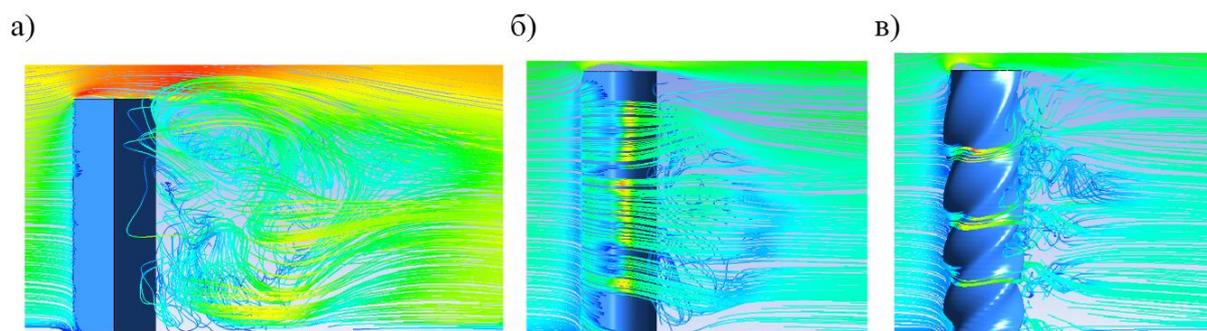


Рис. 6. Эволюция формообразования а) квадратная призма, б) призма кривой Ламе с параметром $u=5$, в) закрученная призма кривой Ламе с параметром $u=5$

Полученный объект параметрической архитектуры является уникальным высотным зданием, которое сочетает конструктивную аэродинамическую устойчивость и высокую эстетичность. Методика исследования и применения возможностей эволюции формообразования позволяет перейти к модернизации BIM технологий при проектировании уникальных зданий и сооружений.

Литература

1. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях // Academia. Архитектура и строительство. 2020. №1. URL: cyberleninka.ru/article/n/analiticheskie-poverhnosti-dlya-parametricheskoy-arhitektury-v-sovremennyh-zdaniyah-i-sooruzheniyah.
2. Кравченко Г.М. Труфанова Е.В., Кондрик И.В., Хатхоху И.А. Моделирование пульсационной составляющей ветровой нагрузки на каркас здания по нескольким методикам расчета // Инженерный вестник Дона, 2017. № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4084/.
3. Kumar E.K., Tamura Y., Yoshida A., Kim Y.C., Yang Q. Journal of Wind Engineering Experimental investigation on aerodynamic characteristics of various

triangular-section high-rise buildings. *Jnl. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 122 (2013), pp. 60-68

4. Kravchenko G. M and Pudanova L. I., 2019 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 698 022017.

5. Jencks Ch. *The New Paradigm in Architecture*, (seventh edition of *The Language of Post-Modern Architecture*), Yale University Press, London, New Haven, 2002. 228 p.

6. Гринько Е.А. Классификация аналитических поверхностей применительно к параметрической архитектуре и машиностроению // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2018. №4. URL: cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-analiticheskikh-poverhnostey-primenitelno-k-parametricheskoj-arhitekture-i-mashinostroeniyu.

7. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н., Халаби С.М., Аналитические поверхности: материалы по геометрии 500 поверхностей. Научное изд. М.: «Наука», 2006. с. 168, 382

8. Кравченко Г.М. Труфанова Е.В., Полетаев М.В. Уточнение методики определения ветровой нагрузки для объектов параметрической архитектуры // Инженерный вестник Дона, 2019. № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5799/.

9. 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). с. 8–17.

10. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // Инженерный вестник Дона, 2013. № 2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707/.

References

1. Mamieva I.A. Academia. Architecture and construction. 2020. №1. URL: cyberleninka.ru/article/n/analiticheskie-poverhnosti-dlya-parametricheskoy-arhitektury-v-sovremennyh-zdaniyah-i-sooruzheniyah.
 2. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Kondrik I.V., Hathohu I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4084/.
 3. Kumar E.K., Tamura Y., Yoshida A., Kim Y.C., Yang Q. Journal of Wind Engineering Experimental investigation on aerodynamic characteristics of various triangular-section high-rise buildings. Jnl. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 122 (2013), pp. 60-68
 4. Kravchenko G. M and Pudanova L. I., 2019 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 698 022017.
 5. Jencks Ch. The New Paradigm in Architecture, (seventh edition of The Language of Post-Modern Architecture), Yale University Press, London, New Haven, 2002. 228 p.
 6. Grinko E.A. RUDN Bulletin. Series: Engineering Research. 2018. №4. URL: cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-analiticheskikh-poverhnostey-primenitelno-k-parametricheskoy-arhitekture-i-mashinostroeniyu.
 7. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N., Halabi S.M., Analiticheskie poverhnosti: materialy po geometrii 500 poverhnostej. Nauchnoe izd [Analytical surfaces: geometry of 500 surfaces]. M.: «Nauka», 2006. p. 168, 382
 8. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Poletaev M.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5799/.
 9. Agahanov E.K., Kravchenko G.M., Osadchij A.S., Trufanova E.V. Raschet zdaniy slozhnoj geometricheskoy formy na vetrovye vozdeystviya // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2017. 44(2). p. 8–17.
-



10. Zyryanov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. № 2 URL:
ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707.