

## Исследование принципов формообразования объектов параметрической архитектуры

*Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, И.Ю. Данилейко, В.А. Забейворота*

*Донской государственной технической университет*

**Аннотация:** В статье исследованы принципы параметрического моделирования и проектирования зданий, архитектурный образ которых представляет собой поверхность спиралевидной циклической модели с окружностями переменного радиуса в плоскостях пучка, заданных по координатам через функции соответствующих поверхностей в программном комплексе САПФИР. Приведены исследования зависимостей параметров функции поверхности, способы задания поверхностей в ПК САПФИР с последующим экспортом в ПК ЛИРА.

**Ключевые слова:** параметрическая архитектура, формообразование объекта, оболочка, формульная поверхность, поверхность с окружностями переменного радиуса, уникальное здание.

Развитие инновационных технологий и информационных систем ориентировано на создание нового направления в архитектуре – параметрической архитектуры. Применение аналитических поверхностей в строительстве ограничено сферическими, цилиндрическими, пологими оболочками и оболочками вращения. Математиками разработано большое количество геометрических форм, но неизвестных архитекторам, проектировщикам, инженерам строителям.

Основной целью работы является исследование формообразования зданий и сооружений на основе параметрического моделирования с использованием редко применяемых в проектировании циклических поверхностей с окружностями переменного радиуса в плоскостях пучка.

На рис. 1 представлены параметрические поверхности, задаваемые одними и теми же параметрическими уравнениями, но с разными геометрическими параметрами [1]. Поверхности на рис.1.а и 1.б имеют следующие общие параметры:  $0 \leq u \leq 8\pi$ ,  $a=1$ ,  $\lambda=4$ ,  $b=1,5$  [1].

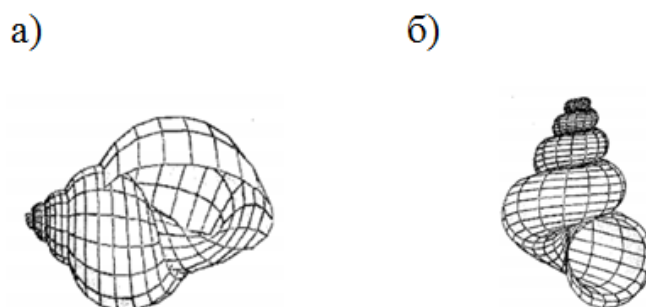


Рис. 1.- Спиралевидные поверхности «Ракушка без вершины»:

а) параметры  $m=p=0,1$ ; б) параметры  $m=p=0,08$

Спиралевидные циклические поверхности с окружностями переменного радиуса в плоскостях пучка можно отнести как к классу циклических поверхностей, так и к классу спиралевидных. Направляющая кривая таких поверхностей имеет вид конической винтовой линии  $\rho=\rho(u) = a \cdot e^{mu} [h(u) + \lambda \cdot k]$ , где  $h(u) = i \cdot \cos(u) + j \cdot \sin(u)$  - окружность единичного радиуса в плоскости  $xOy$  [13]. Образующие окружности переменного радиуса  $R(u)$  лежат в плоскостях пучка [2]. В общем виде форма задания спиралевидной циклической поверхности представлена параметрическими уравнениями:  $x = x(u, v); y = y(u, v); z = z(v)$ ,

где:  $x = [ae^{mu} + R(u)\cos(v)]\cos(u)$ ;

$y = [ae^{mu} + R(u)\cos(v)]\sin(u)$ ;

$z = ae^{mu} + R(u)\sin(v)$ ;

$v$  – параметр, задающий траекторию линии центров образующих окружностей ( $0 \leq v \leq 2\pi$ );

$u$  – центральный угол образующей окружности ( $0 \leq u \leq 2\pi$ );

при  $R(u) = be^{pu}$  - частный случай спиралевидных циклических поверхностей спиралевидная поверхность «Ракушка без вершины»;  $a, b, \lambda, m, p$  - дополнительные параметры.

Существует множество способов задания поверхностей в различных программных комплексах. В каждой программе свои сложности и особенности, связанные с созданием архитектурного образа объекта, а затем переноса его в расчетный комплекс для формирования конечно-элементной модели и определения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций каркаса методом конечных элементов [3-6]. Метод конечных элементов позволяет исследовать прочностные и динамические характеристики уникальных зданий и сооружений. При моделировании каркаса по плитно-стержневой схеме в пространственной постановке возникает проблема задачи большой размерности. Применение типовых оболочечных конечных элементов для объектов параметрической архитектуры с криволинейными поверхностями требует сгущения сетки, что также увеличивает порядок разрешающих уравнений.

В данной работе предлагается использовать следующие принципы формообразования объектов параметрической архитектуры:

- исследовать задание поверхности с вариацией геометрических параметров;
- исследовать эволюцию формообразования объекта параметрической архитектуры;
- выполнить анализ формообразования поверхности и выбрать оптимальный вариант для применения объекта при проектировании высотных зданий и сооружений [7].

Исследование принципов формообразования выполнено в ПК САПФИР, в котором встроена функция задания линии спиралевидной циклической поверхности с окружностями переменного радиуса в плоскостях пучка «Ракушка без вершины».

Для задания поверхности исследуемого объекта параметрической архитектуры рассмотрено несколько вариантов поверхностей с разными

---

параметрами. Чтобы получить форму винтовой поверхности, необходимо выбрать поверхность «Ракушка без вершины» (рис.2).

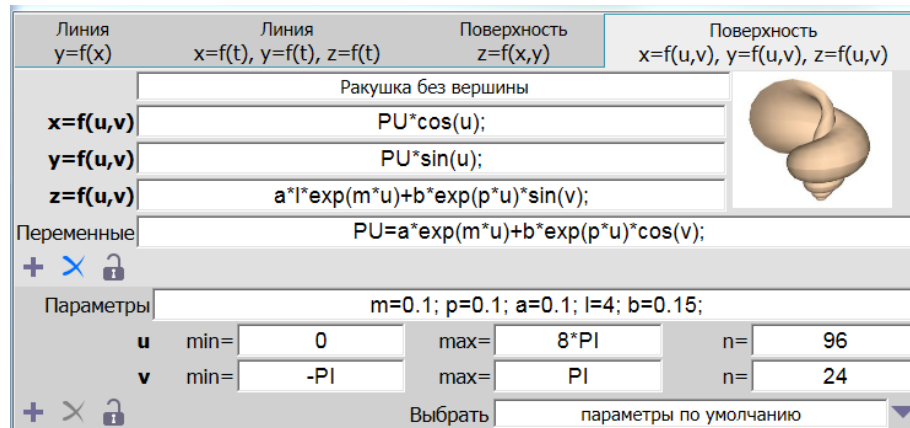


Рис. 2. – Задание поверхности «Ракушка без вершины» в ПК САПФИР

Исследуемая поверхность задается уравнениями:

$$x = x(u,v) = PU \cdot \cos(u),$$

$$y = y(u,v) = PU \cdot \sin(u),$$

$$z = z(v) = a \cdot l \cdot e^{mu} + b \cdot e^{pu} \cdot \sin(v),$$

$$PU = a \cdot e^{mu} + b \cdot e^{pu} \cdot \cos(v) \text{ - переменная}$$

Объект архитектуры представляет собой здание высотой 130м. Параметры поверхности варьировались, исходя из требований к геометрическим размерам здания и отсутствия зазоров между витками по высоте.

На первом этапе параметр  $m$  изменялся от -0.1 до 0.1. Изменение формообразования представлено на рис.3.

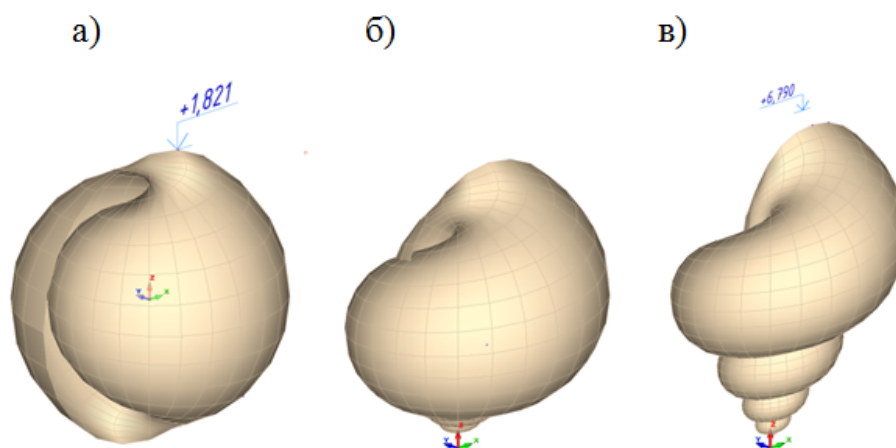


Рис. 3 – Варьирование параметра  $m$ : а)  $m=-0,1$ ; б)  $m=0,08$ ; в)  $m =0,1$

Высота объекта и положение его относительно центра координат менялись за счет увеличения «витков ракушки». Использование поверхности в качестве объекта параметрической архитектуры возможно со значением параметра  $m=0,08$ .

Параметр  $p$  влияет на радиус винтовой образующей, при этом изменяется высотная отметка объекта. Анализ эволюции формообразования позволяет сделать вывод об использовании поверхности в качестве объекта параметрической архитектуры с параметром  $p=0.0804$ .

Параметр  $a$  варьировался по следующим значениям: -1, 1,-0.1, 0.1 (рис. 4).

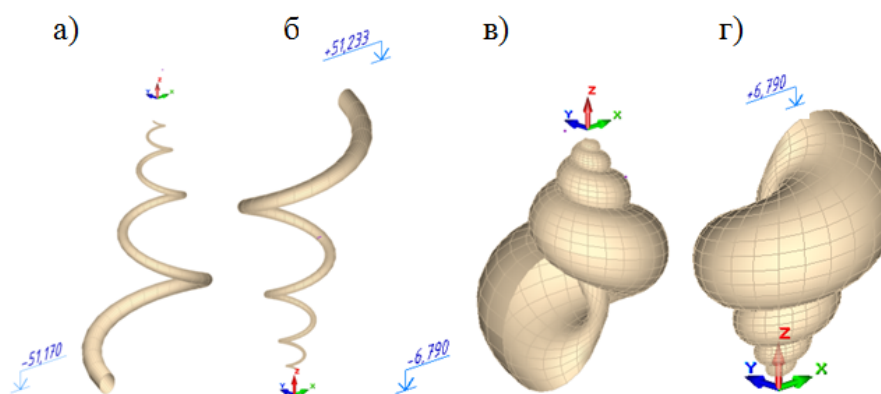


Рис. 4 - Варьирование параметра  $a$ : а)  $a=-1$ ; б)  $a=1$ ; в)  $a=-0,1$ ; г)  $a=0,1$

Знак для данного параметра определяет направление «раскручивания ракушки». С увеличением параметра по модулю увеличивается и высота и радиус. Для конечного объекта используется параметр  $a=l$ .

«Раскручивание ракушки» зависит от параметра  $l$ , а положение объекта в системе координат от знака (рис.5).

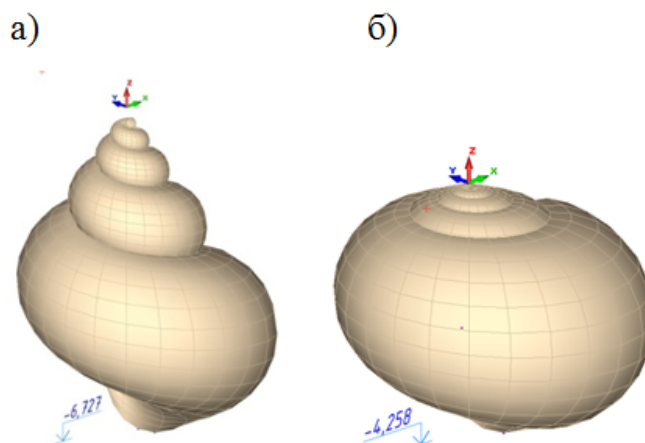


Рис. 5 - Варьирование параметра  $l$ : а)  $l=-4$ ; б)  $l=-2$ ,

Проанализировав эволюцию формы объекта можно сделать вывод об использовании поверхности с параметром  $l=-4$ .

Угловой параметр  $u$  исследован с шагом  $\pi$ . Рис.6 четко отображает зависимость между параметром  $u$  и числом витков всего объекта.

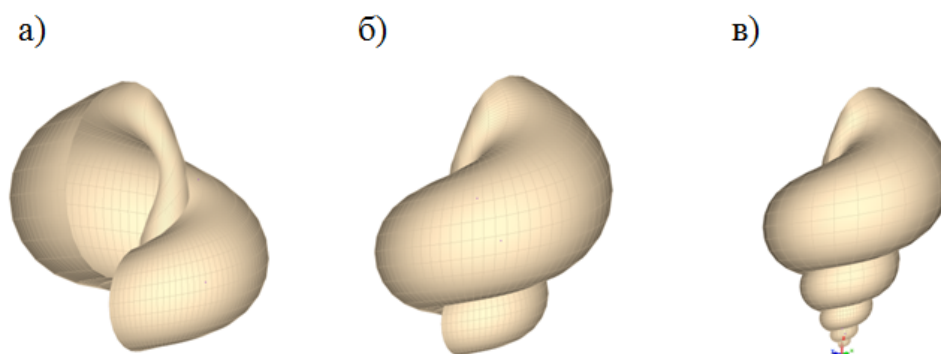


Рис. 6 - Варьирование диапазона параметра  $u$ : а)  $u_{min}=-\pi$ ;  $u_{max}=\pi$ ; б)  $u_{min}=-\pi$ ;  $u_{max}=2*\pi$ ; в)  $u_{min}=0$ ;  $u_{max}=8*\pi$

Для высотного здания принимаем значение  $u_{min}=0$ ;  $u_{max}=14*\pi$ .

Параметр  $\nu$  - это угловой параметр, меняющийся с шагом  $\pi$ , влияет на структуру поверхности и окружности переменного радиуса в плоскостях пучка.

Итак, для преобразования ракушки в спиралевидную винтовую поверхность, необходимую для проектирования высотного здания, приняты параметры функции «Ракушка без вершины»:  $m=0.08$ ,  $p=0.0804$ ,  $a=-1$ ,  $l=4$ ,  $b=1$ ,  $u_{min}=0$ ,  $u_{max}=14\pi$ . Результат параметрического моделирования объекта в ПК САПФИР представлен на рис. 7.а.

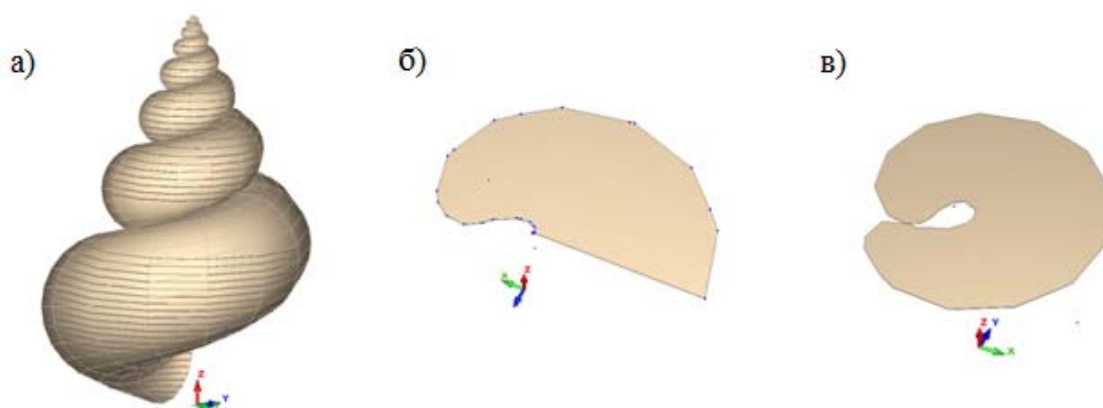


Рис. 7. - Результат параметрического моделирования: а) общий вид; б) плита перекрытия вариант 1; в) плита перекрытия вариант 2

Полученная форма объекта высотой 130 м может использоваться для проектирования уникального здания многофункционального назначения. Внутри круговых поверхностей расположен каркас здания, представляющий собой плитно-стержневую систему с перекрытиями различных очертаний рис.7.б, 7.в. Поскольку винтовые поверхности с увеличением высоты меняют свое очертание в плане, то расчетная схема каждого последующего этажа будет отлична от предыдущей.

Основа каркаса – ядро жесткости в виде лифтово-лестничного узла, расположенного на главной оси объекта, проходящей через центр тяжести сооружения, при этом ось винтовой линии не совпадает с главной осью [8].  
Опирающиеся на стальные фермы плиты перекрытия, сложной в плане



формы, шарнирно соединены с ядром жесткости и раскреплены вертикальными связями (рис.8).

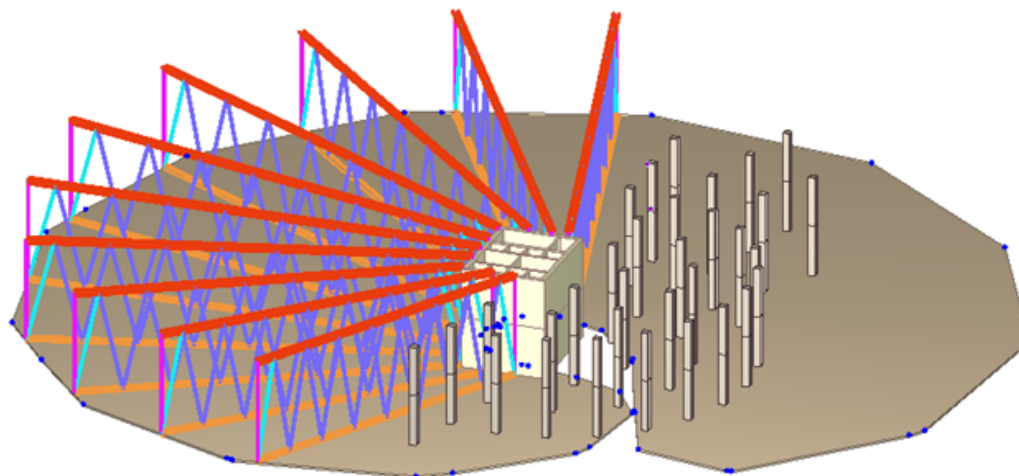


Рис. 8. - Фрагмент конструктивного решения каркаса здания

Преимущество ПК САПФИР перед многими другими программными комплексами в том, что можно экспортировать файл в ПК ЛИРА, который является одним из наиболее универсальных расчетных программ, реализующих метод конечных элементов [9]. Развитие параметрической архитектуры вызывает необходимость в создании новых подходов к расчету уникальных зданий и сооружений, расширению библиотеки конечных элементов программных комплексов [10].

С развитием инновационных технологий проблема создания объектов параметрической архитектуры становится все более актуальной. Применение 3D принтеров и наноматериалов при строительстве уникальных зданий и сооружений будет способствовать развитию параметрической архитектуры. Внедрение объектов параметрической архитектуры изменит внешний облик городской застройки, придав ему неповторимость и уникальность [11-13].



## Литература

1. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н., Халаби С.М. Аналитические поверхности: материалы по геометрии 500 поверхностей и информация к расчету на прочность тонких оболочек. М.: Наука, 2006. 544 с.
2. Васильков Г.В. Теория адаптивной эволюции механических систем. Ростов-на-Дону: Terra-Принт, 2007. 248 с.
3. Кравченко Г.М., Васильев С.Э., Пуданова Л.И. Парадигма фрактальных структур // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4450](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4450).
4. Кравченко Г.М., Васильев С.Э., Пуданова Л.И. Моделирование фракталов // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3930](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3930).
5. Кравченко Г.М., Манойленко А. Ю., Литовка В.В. Применение параметрического проектирования при моделировании методом конечных элементов // Инженерный вестник Дона, 2019, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2019/5051](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2019/5051).
6. Кравченко Г.М., Манойленко А. Ю., Литовка В.В. Применение параметрического проектирования при моделировании методом конечных элементов // Инженерный вестник Дона, 2019, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2019/5040](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2019/5040).
7. Поморов С.Б., Исмаил Халед Д.Альдин. Терминология нелинейной архитектуры и аспекты ее применения // Вестник ТГАСУ. 2014. №3. С. 78-87.
8. Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р.. Физика процессов эволюции. Пер.нем. Ю. А. Данилова. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 328 с.
9. Lovdal S. Tradition and innovation—tracing the influences of Eladio Dieste's vaulting techniques. *Appropriate technologies*. 2009. pp. 83-94.

10. Barrallo J., Sánchez-Beitia S. The Geometry of Organic Architecture: The Works of Eduardo Torroja, Felix Candela and Miguel Fisac. Proceedings of Bridges 2011: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture. 2011. pp. 65-72.

11. Стессель С.А. Заимствование природных принципов формообразования в параметрической архитектуре // Вектор науки ТГУ. 2015. №2. С. 52-57.

12. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. 604 с.

13. Иванов В.Н. Геометрия и конструирование трубчатых оболочек // Вестник российского университета дружбы народов. 2005. №1. С. 109-114.

### References

1. Vasil'kov G.V. Teorija adaptivnoj jevoljucii mehanicheskikh system [The theory of adaptive evolution of mechanical systems]. Rostov-na-Donu: Terra-Print, 2007. 248 p.

2. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N., Halabi S.M. Analiticheskie poverhnosti: materialy po geometrii 500 poverhnostej i informacija k raschetu na prochnost' tonkih obolochek [Analytical surfaces: materials of geometry of 500 surfaces and information for durability calculation of thin covers]. M.: Nauka, 2006. 544 p.

3. Kravchenko G.M., Vasil'ev S.Je., Pudanova L.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4450](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4450).

4. Kravchenko G.M., Vasil'ev S.Je., Pudanova L.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3930](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3930).

5. Kravchenko G.M., Manoilenko A.U., Litovka V.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2019, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2019/5051](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2019/5051).

6. Kravchenko G.M., Manoilenko A.U., Litovka V.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2019, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2019/5040](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2019/5040)



7. Pomorov S.B., Ismail Haled D.Al'din. Vestnik TGASU. 2014. №3. pp. 78-87.

8. Ebeling V., Engel' A., Faystel' R. Fizika protsessov evolyutsii [The physics of the processes of evolution]. Moscow, Editorial URSS, 2001. 328 p.

9. Lovdal S. Tradition and innovation—tracing the influences of Eladio Dieste's vaulting techniques. Appropriate technologies. 2009. pp. 83-94

10. Barrallo J., Sánchez-Beitia S. The Geometry of Organic Architecture: The Works of Eduardo Torroja, Felix Candela and Miguel Fisac. Proceedings of Bridges 2011: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture. 2011. pp. 65-72.

11. Stessel' S. A. Vektor nauki TGU. 2015. №2. pp. 52-57.

12. Rogers D., Adams J. Matematicheskie osnovy mashinnoj grafiki [Mathematical elements for computer graphics]. M: Mir, 2001. 604 p.

13. Ivanov V.N. Department of Strength of Materials People's Friendship University of Russia. 2005. №1. pp. 109-114.