

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 72:004.925.83

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ВАРИАНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ БИОНИЧЕСКИХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ

Г.А. Вирченко<sup>1</sup>, С.Л. Шамбина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»  
*пр. Победы, 37, Киев, Украина, 03056*

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов  
*ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419*

Изложена методика вариантного формообразования поверхностей бионических архитектурных объектов на основе применения обобщенных компьютерных параметрических моделей. Приведены соответствующие примеры, выполнен их анализ.

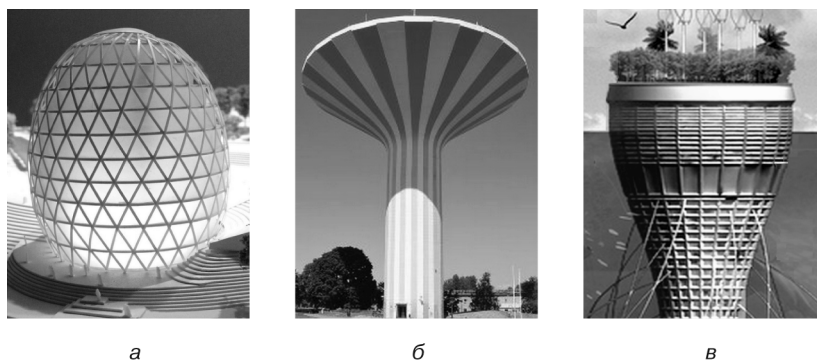
**Ключевые слова:** архитектурное проектирование, бионическое формообразование, компьютерное вариантное моделирование поверхностей

В настоящее время, как и на протяжении многих предшествующих столетий, окружающий нас мир служит основой для заимствования архитекторами в их профессиональной деятельности. Это обусловлено не только эстетичной привлекательностью природных объектов, но и большой функциональностью их формы, обеспечивающей высокую степень прочности, надежности, адаптации к изменяющимся внешним условиям и т.д.

В научно-технической литературе имеются издания, например [1], систематизированно освещающие вопросы математического описания разнообразных поверхностей, используемых во многих сферах жизнедеятельности человека. Соответствующим примером служит также работа [2]. В статье [3] сделан обзор бионического формообразования в современном архитектурном проектировании.

Целью настоящей публикации является изложение методики автоматизированного вариантного построения бионических поверхностей архитектурных объектов на основе применения обобщенных параметрических геометрических моделей. При большом числе различных анализируемых поверхностей данный подход позволяет заменять отдельные компьютерные модели одной обобщенной,

что существенно повышает производительность автоматизированного архитектурного проектирования. Предлагаемая методика является развитием исследования [3]. На рисунке 1 представлены некоторые бионические формы в соответствии с этой работой.



**Рис. 1.** Примеры бионических архитектурных объектов в виде яйца (а); гриба (б); цветоложа (в)

Для иллюстрации приемов моделирования были отобраны объекты, создаваемые на основе фигур вращения. Рассматриваемый далее подход к компьютерному вариантному формообразованию также применим к таким классам поверхностей, как винтообразные, спиралевидные и пр.

В качестве базовых элементов используются дуги кривых второго порядка

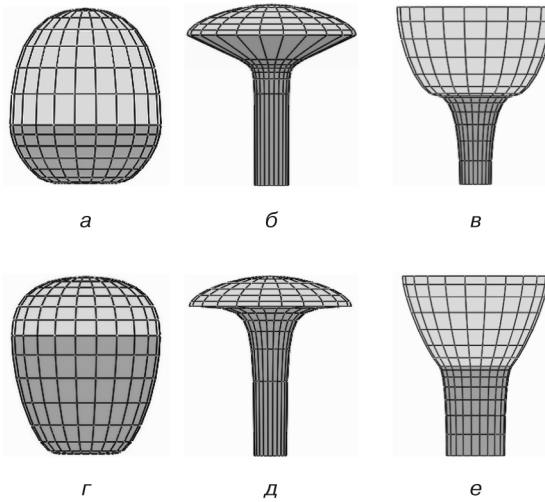
$$\mathbf{r}(u_i) = \frac{(1-u_i)^2 \mathbf{r}_{0i} + w_i 2u_i(1-u_i) \mathbf{r}_{1i} + u_i^2 \mathbf{r}_{2i}}{(1-u_i)^2 + w_i 2u_i(1-u_i) + u_i^2}, \quad (1)$$

где  $i$  — номер дуги;  $\mathbf{r}_{0i}$ ,  $\mathbf{r}_{1i}$ ,  $\mathbf{r}_{2i}$  — радиус-векторы вершин характеристических треугольников;  $w_i \geq 0$  — весовые коэффициенты;  $u_i \in [0, 1]$  — параметры.

На рисунке 2 показаны несколько вариантов бионических архитектурных форм, построенных в правой прямоугольной системе координат  $Oxuz$  с вертикальной осью  $z$ , вокруг которой вращаются две дуги (1), расположенные в плоскости  $xz$ . Первая кривая имеет координаты  $z \leq 0$ , вторая —  $z \geq 0$ . Точка соединения  $\mathbf{r}_{21} = \mathbf{r}_{02}$  этих дуг находится на оси  $x$ , что обеспечивает в плоскости  $xu$  стык по окружности необходимого радиуса  $R$  двух отсеков получаемой составной поверхности вращения. Положение  $\mathbf{r}_{01}$  определяет высоту  $H_1$  и нижний радиус  $R_1$  первого из них, а  $\mathbf{r}_{22}$  — высоту  $H_2$  и верхний радиус  $R_2$  второго. Вершины  $\mathbf{r}_{11}$ ,  $\mathbf{r}_{12}$  и весовые коэффициенты  $w_1$ ,  $w_2$  используются для дополнительного управления формой и размерами проектируемых отсеков  $\mathbf{r}(u_1, v)$  и  $\mathbf{r}(u_2, v)$ , уравнения которых записываются в виде

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(u_1, v) &= (x, y, z) = (\mathbf{r}_x(u_1)\cos(v), \mathbf{r}_x(u_1)\sin(v), \mathbf{r}_z(u_1)), \\ \mathbf{r}(u_2, v) &= (x, y, z) = (\mathbf{r}_x(u_2)\cos(v), \mathbf{r}_x(u_2)\sin(v), \mathbf{r}_z(u_2)), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\mathbf{r}_x(u_1)$ ,  $\mathbf{r}_z(u_1)$ ,  $\mathbf{r}_x(u_2)$ ,  $\mathbf{r}_z(u_2)$  —  $x$  и  $z$  компоненты радиус-векторов (1),  $v_i \in [0, 2\pi]$  — угол поворота образующих  $\mathbf{r}(u_1)$  и  $\mathbf{r}(u_2)$ .



**Рис. 2.** Варианты компьютерных моделей поверхностей бионических архитектурных форм в виде яйца (а, г); гриба (б, д); цветоложа (в, е)

Изображенные выше фигуры получены в соответствии с зависимостями (2) для значений параметров, указанных в табл. 1.

Таблица 1

**Геометрические параметры поверхностей рис. 2**

Рис.	$H_1$	$R_1$	$w_1$	$R$	$H_2$	$R_2$	$w_2$	$r_{01}$	$r_{11}$	$r_{21}$	$r_{02}$	$r_{12}$	$r_{22}$
2, а	8	4	0.5	10	16	0	1	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R, 0, -H_1)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, H_2)$	$(R_2, 0, H_2)$
2, б	20	2	10	10	4	0	0.5	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R, 0, -H_1/5)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, H_2)$	$(R_2, 0, H_2)$
2, в	12	2	1	5	12	10	0.5	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R_1, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R_2, 0, 0)$	$(R_2, 0, H_2)$
2, г	16	4	0.5	10	8	0	1	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R, 0, -H_1)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, H_2)$	$(R_2, 0, H_2)$
2, д	20	2	3	10	4	0	0.5	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R_1, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, H_2)$	$(R_2, 0, H_2)$
2, е	12	4	1	5	12	10	0.5	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R_1, 0, -H_1/10)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R_2, 0, H_2/2)$	$(R_2, 0, H_2)$

Приведенные данные свидетельствуют о том, что изменением величин лишь нескольких параметров осуществляются требуемые разнообразные модификации проектируемых поверхностей.

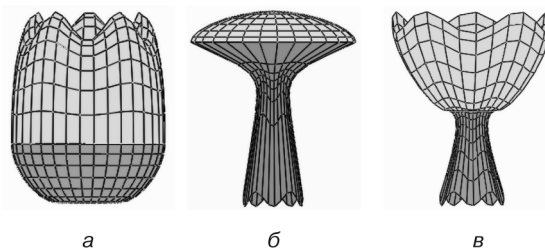
Покажем возможности дальнейшего обобщения модели (2). Это может быть, например, вариант

$$\mathbf{r}(u_1, v) = (x, y, z) = (\mathbf{r}_x(u_1)\cos(v), \mathbf{r}_x(u_1)\sin(v), \mathbf{r}_z(u_1) + A_1(1 - u)\sin(N_1v)),$$

$$\mathbf{r}(u_2, v) = (x, y, z) = (\mathbf{r}_x(u_2)\cos(v), \mathbf{r}_x(u_2)\sin(v), \mathbf{r}_z(u_2) + A_2u\sin(N_2v)), \quad (3)$$

где  $A_1, N_1$  — амплитуда и количество волн синусоиды на базовой нижней окружности радиуса  $R_1$  первого отсека составной поверхности вращения;  $A_2, N_2$  — амплитуда и количество волн синусоиды на базовой верхней окружности радиуса  $R_2$  второго отсека.

На рисунке 3 представлены некоторые поверхности, построенные в соответствии с зависимостями (3).



**Рис. 3.** Варианты модификации бионических поверхностей на основе формы яйца (а); гриба (б); цветоложа (в)

При этом использованы значения параметров, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

**Геометрические параметры поверхностей рис. 3**

Рис.	$H_1$	$R_1$	$w_1$	$A_1$	$N_1$	$R$	$H_2$	$R_2$	$w_2$	$A_2$	$N_2$	$r_{0_1}$	$r_{1_1}$	$r_{2_1}$	$r_{0_2}$	$r_{1_2}$	$r_{2_2}$
3, а	8	4	0.5	0	0	10	16	7	1	2	5	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R, 0, -H_1)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, H_2)$	$(R_2, 0, H_2)$
3, б	20	3.6	5	1	5	10	4	0	0.5	0	0	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R_1/3, 0, -H_1/5)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, H_2)$	$(R_2, 0, H_2)$
3, в	12	4	1	1	5	3	12	10	0.3	1.5	5	$(R_1, 0, -H_1)$	$(R_1/8, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R, 0, 0)$	$(R_2, 0, 0)$	$(R_2, 0, H_2)$

Указанные сведения также подтверждают эффективность проанализированного выше автоматизированного формообразования.

Таким образом, нами рассмотрены ключевые приемы предложенной методики компьютерного вариантного построения поверхностей бионических архитектурных объектов. В ее основе лежит применение обобщенных параметрических моделей, позволяющих существенно повышать гибкость и производительность процессов автоматизированного проектирования.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. М.: Либроком, 2010. 560 с.
- [2] *Christian A. Bock Hyeng, Emmanuel B. Yamb.* Application of Cyclic Shells in Architecture, Machine Design, and Bionics // International Journal of Modern Engineering Research. Vol. 2, Issue 3, May-June 2012. P. 799—806.
- [3] *Шамбина С.Л., Казарян А.А.* Применение бионического формообразования и методов аналитической геометрии в современном архитектурном проектировании // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 1. С. 3—11.

## COMPUTER VARIANT SURFACE MODELING OF BIONIC ARCHITECTURAL FORMS

G.A. Virchenko<sup>1</sup>, S.L. Shambina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”

*Pobedy av., 37, Kiev, Ukraine, 03056*

<sup>2</sup> Peoples’ Friendship University of Russia

*Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419*

Application of generalized parametric computer models for variant forming of bionic architectural objects is described in this article. Appropriate practical examples are given. Corresponding analysis was performed.

**Key words:** architectural design, bionic shaping, computer variant surface modelling

### REFERENCES

- [1] *Krivoshapko S.N., Ivanov V.N.* Encyclopedia of analytic surfaces. M.: Librokom, 2010. 560 p.
- [2] *Christian A. Bock Hyeng, Emmanuel B. Yamb.* Application of Cyclic Shells in Architecture, Machine Design, and Bionics. International Journal of Modern Engineering Research. Vol. 2, Issue 3, May-June 2012. P. 799—806.
- [3] *Shambina S.L., Kazarian A.A.* Application of bionic forms and approaches of analytical geometry to modern architectural design // Structural mechanics of engineering constructions and buildigs. 2015. № 1. P. 3—11.