

Геометрические исследования срединных поверхностей тонких оболочек

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО
ВАРИАНТНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

С.Л. ШАМБИНА, канд. техн. наук, доцент *

С.Г. ВИРЧЕНКО, аспирант **

* Российский университет дружбы народов

117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; E-mail: shambina_sl@mail.ru

** Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

03056, Киев, пр. Победы, 37; E-mail: servirchenko@gmail.com

В данной статье проанализированы некоторые аспекты использования компьютерного вариантного динамического формообразования для автоматизированного проектирования инженерных конструкций и сооружений. Предлагаемая методика является дальнейшим развитием структурно-параметрического подхода к геометрическому моделированию технических объектов, разработанного научной школой прикладной геометрии НТУУ «КПИ им. И. Сикорского».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматизированное проектирование, динамическое вариантное формообразование, инженерные конструкции и сооружения, геометрическое моделирование.

На нынешнем этапе развития общества одним из перспективных направлений совершенствования различных технических объектов, в том числе инженерных конструкций и сооружений, является широкое применение при их проектировании компьютерных информационных технологий [1]. Данная методология обеспечивает не только улучшение качества создаваемой промышленной продукции, но и снижение затрат при ее изготовлении и эксплуатации.

Высокая производительность современных компьютеров и разнообразных их периферийных устройств (цветных графических дисплеев и принтеров, сканеров, видеокамер, сетевых карт и т. д.) позволяют при автоматизированном проектировании реализовывать комплексное компьютерное моделирование. Под данным термином подразумевается разработка и использование компьютерных моделей, которые отражают исследуемый технический объект одновременно в аспектах нескольких дисциплин, например, прочности, конструкции, технологии изготовления, эксплуатации, экономики, экологии и т. д.

Во многих указанных случаях в качестве интегрирующей и согласовывающей основы для создания промышленной продукции выступают ее геометрические модели. О важности формообразования срединных поверхностей оболочек строительных тонкостенных пространственных конструкций свидетельствуют, например, публикации [2-7].

Главной задачей разработки многих технических объектов считается определение таких их конфигураций, которые наиболее полно удовлетворяют поставленным целям и имеющимся ограничениям. Поскольку для сложных изделий выполнение этого задания, как правило, не может быть формализовано в полной мере, то на практике сейчас обычно прибегают к вариантному автоматизированному проектированию.

Прогрессивной тенденцией современного компьютерного геометрического моделирования является методология структурно-параметрического формообразования, основные положения которой даны в статье [8]. Дальнейшим ее развитием можно считать динамическое вариантное формообразование с использованием метода полипараметризации [9-10].

На основе имеющихся в приведенных выше литературных источниках материалов изложим предлагаемую методику комплексного компьютерного моделирования инженерных конструкций и сооружений с применением динамического вариантного формообразования. Проиллюстрируем соответствующие приемы, см. рис. 1, на примере сборных железобетонных куполов [3, 4].

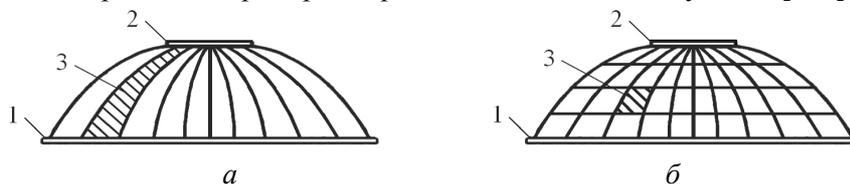


Рис. 1. Сборные железобетонные купола:

а – меридиональная разрезка; *б* – меридионально-кольцевая разрезка

1 – нижнее опорное кольцо, 2 – верхнее кольцо, 3 – трапециевидная панель

В указанных публикациях описан порядок выполнения прочностных расчетов данных сооружений, а также проанализированы некоторые разновидности их конструкции.

В качестве меридиональных образующих куполов с круговым основанием могут использоваться дуги окружностей, эллипсов, парабол, отрезки прямых и т. д. Согласно этому создадим следующий кортеж возможных проектных вариантов формы купола

$$\Phi K = (\Phi K_j)_1^4, \quad (1)$$

где $\Phi K_1 = \text{СК}$ – сферический, $\Phi K_2 = \text{ЭК}$ – эллиптический, $\Phi K_3 = \text{ПК}$ – параболический, $\Phi K_4 = \text{КК}$ – конический.

В соответствии с рис. 1 исследуемые структурные варианты разрезки купола на сборные элементы описываются множеством

$$PK = (PK_j)_1^2, \quad (2)$$

где $PK_1 = \text{МР}$ – меридиональная разрезка, $PK_2 = \text{МКР}$ – меридионально-кольцевая разрезка.

В изданиях [3-5] указывается, что на выбор формы и конструктивных решений купола оказывают влияние не только архитектурные соображения, но и такие технико-экономические требования как соответствие характеру действующих нагрузок, минимальный расход строительных материалов, простота изготовления, транспортирования и монтажа элементов купола и т. д.

В работе [5] отмечается, что достижение необходимых показателей качества в процессе возведения зданий, а также при изготовлении на заводах элементов их конструкции, в значительной степени зависит от того, в какой мере принятые проектные решения учитывают реальные производственные условия.

Технологичность сборной строительной конструкции заключается в ее приспособленности к имеющимся технологиям и выражается в затратах человеческого труда, машинного времени, материальных и финансовых ресурсов на изготовление, транспортировку и монтаж элементов этой конструкции.

Состав приведенных процессов для моделируемого купола определим кортежами

$$IK = (IK_j)_1^{N_{IK}}, \quad TK = (TK_j)_1^{N_{TK}}, \quad MK = (MK_j)_1^{N_{MK}}, \quad (3)$$

где N_{IK} , N_{TK} , N_{MK} – соответственно количество проектных вариантов изготовления, транспортирования и монтажа купола.

Согласно структурно-параметрическому подходу на основании соотношений (1) ... (3) строится комплексная проектная вариантная модель купола в виде показанного на рис. 2 мультиграфа.

В данном случае купол К представляется в виде кортежа

$$K = (K_i)_1^5, \quad (4)$$

где $K_1=ФК, K_2=РК, K_3=ИК, K_4=ТК, K_5=МК$.

При этом каждый элемент множества (4) описывается некоторым вектором параметров

$$P_{ij} = (p_{ijk})_1^{Np_{ij}}, \quad (5)$$

где Np_{ij} – число параметров j -го варианта i -го элемента.

Структурные взаимосвязи между разновидностями n -й и m -й составляющей модели купола К определяются матрицей смежности

$$C_{nm} = \|c_{nr}c_{ms}\|; \quad n, m, r, s \in N; \quad (6)$$

$$n \neq m; \quad r \in (1 \dots N_n); \quad s \in (1 \dots N_m),$$

где N_n и N_m – число вариантов n -й и m -й составляющей, $c_{nr}c_{ms} \neq 0$ при взаимодействии вариантов K_{nr} и K_{ms} , $c_{nr}c_{ms} = 0$ – в противном случае.

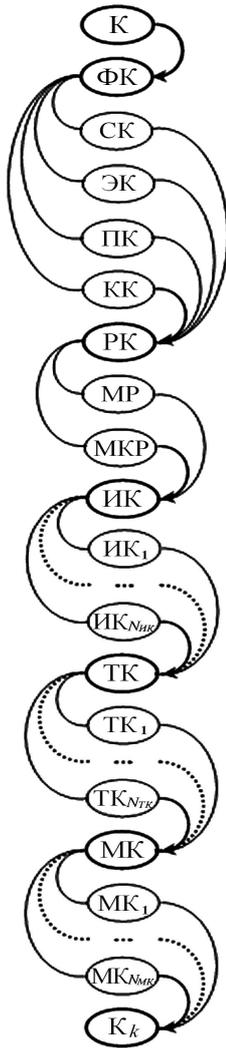
В результате использования зависимостей (1) ... (6) моделируемый купол К представляется как множество его проектных вариантов

$$K = (K_k)_1^{N_K}. \quad (7)$$

Поиск элементов кортежа (7), наиболее полно удовлетворяющих проектным условиям, осуществляется как результат проводимой на графе структурно-параметрической оптимизации. При этом дугам графа присваиваются необходимые числовые значения, рассчитанные по определенным зависимостям.

Так, например, монтажная технологичность существенно зависит от разрезки сооружения на монтажные элементы (их габаритов и массы), количества и характера циклов подъема конструкций кранами и т. д. Эффективность строительных работ повышается при сокращении монтажного цикла, который включает в себя время на строповку сборного элемента, подъем на монтажный горизонт, установку и выверку, временное крепление, расстроповку и перемещение грузового крюка с монтажного горизонта до площадки складирования конструкций, постоянное закрепление.

Рис. 2. Комплексная вариантная модель купола К



Как видим, для получения точной расчетной модели монтажа необходима *динамическая геометрическая модель* возведения сооружения, которая на основании габаритных и массовых свойств элементов конструкции, а также их монтажных траекторий позволяет довольно точно определять необходимые проектные параметры и характеристики производственного процесса.

На рис. 3 показаны фрагменты компьютерного динамического вариантного формообразования срединной поверхности купола с применением меридионально-кольцевой разрезки.

Необходимая для этого программа, например в системе Maple, имеет вид:

with(plots);

p1:=0:p2:=0:p3:=0: # x,y, z координаты центра эллипсоидальной поверхности

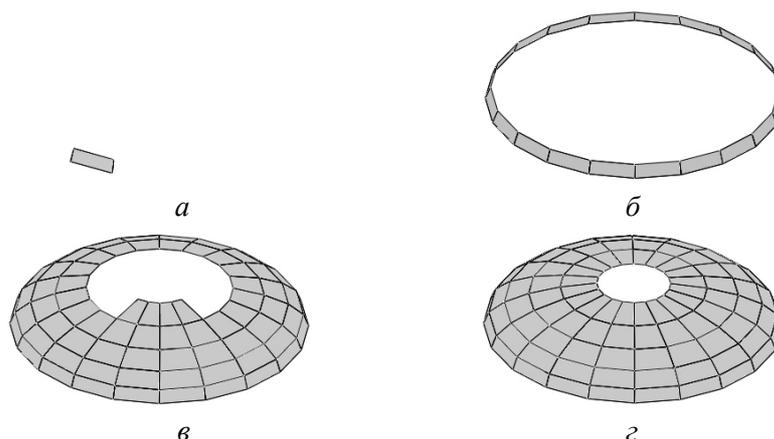


Рис. 3. Динамическое геометрическое моделирование купола:
 а – первая панель; б – первое кольцо; в – построение завершающего кольца;
 г – окончательный вид модели

```

p4:=20; p5:=20; p6:=7: # x,y,z полуоси эллипсоидальной поверхности
cv:=.25: # угол (в радианах) расположения верхнего кольца
Ndu:=5: # количество участков (панелей) вдоль параметра u
Ndv:=20: # количество участков (панелей) вдоль параметра v
Nd:= Ndu*Ndv: # число фреймов
# вспомогательные переменные
R:=max(abs(p1+p4), abs(p2+p5), abs(p3+p6))+1:
opt:=axes=None,view=[-R..R, -R..R,-R..R]:
# анимация
animate(plot3d,[[p1+p4*cos((Pi/2-cv)*u)*cos(2*Pi*v),p2+p5*cos((Pi/2-
cv)*u)*sin(2*Pi*v),p3+p6*sin((Pi/2-cv)*u)],u=floor((i-1)/Ndv)/Ndu..(floor((i-
1)/Ndv)+1)/Ndu,v=(i-1-floor((i-1)/Ndv)*Ndv)/Ndv..(i-floor((i-1)/Ndv)*Ndv)/Ndv,
style=patch,grid=[2,2],color=gray,opt],i=1..Nd,frames=Nd,trace=Nd-1);
    
```

Использование управляющих параметров рассмотренной модели (форма, размеры и положение купола, количество панелей в кольцевом и меридиональном направлении) поясняют комментарии приведенной программы.

Таким образом, в данной публикации проанализированы некоторые типовые приемы предлагаемой методики для комплексного компьютерного моделирования инженерных конструкций и сооружений при их автоматизированном проектировании на основании структурно-параметрического подхода с применением динамического вариантного формообразования.

Несколько иной подход для формообразования инженерных конструкций и сооружений используется в монографии [11].

Л и т е р а т у р а

1. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
2. Кривошапко С.Н., Мамиева И.А. Аналитические поверхности в архитектуре зданий, конструкций и изделий. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012. – 328 с.
3. Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции. – М.: Архитектура-С, 2006. – 120 с.
4. Маилян Р.Л., Маилян Д.Р., Веселев Ю.А. Строительные конструкции. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 880 с.
5. Афанасьев А.А., Арутюнов С.Г., Афонин И.А. и др. Технология возведения полнотелых зданий. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 360 с.
6. Krivoshapko S.N., Shambina S.L. Design of developable surfaces and the application

of twin-walled developable structures // *Serbian Architectural Journal*. – Vol. 4, 2012, No. 3. – Belgrad. – P. 298-317.

7. 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.

8. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання // *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. – Вип. 23. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 42-48.

9. Ванін В.В., Вірченко С.Г., Вірченко Г.І. Варіантне моделювання геометричних об'єктів методом поліпараметризації // *Проблеми інформаційних технологій*. – №02(016) грудень 2014. – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 76-79.

10. Ванін В.В., Шамбина С.Л., Вірченко Г.І. Вариантное компьютерное макетирование оболочек на основе полипараметризации их срединных поверхностей // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2015. – №6. – С. 3-8.

11. Иванов В.Н., Романова В.А. Конструктивные формы пространственных конструкций. Визуализация поверхностей в системах MathCad, AutoCad. – М.: Издательский дом АСВ, 2016. – 412 с.

References

1. Li K. (2004) *Osnovy SAPR (CAD/CAM/CAE)*, SPb.: Piter, 560 p.
2. Krivoshapko S.N., Mamiyeva I.A. (2012) *Analiticheskie Poverkhnosti v Arkhitekture Zdanii, Konstrukcii i Izdelii*. Moscow: Kn. Dom "LIBROKOM", 328 p.
3. Lebedeva N.V. (2006) *Fermy, Arki, Tonkostennyye Prostranstvennyye Konstrukcii*. M.: Arhitektura - C, 120 p.
4. Mailian R.L., Mailian D.R., Veselev I.U.A. (2005) *Stroitel'nye Konstrukcii*, Rostov n/D.: Feniks, 880 p.
5. Afanasev A.A., Arutiunov S.G., Afonin I.A. i dr. (2002) *Tekhnologiya Vozvedeniia Polnosbornykh Zdanii*. M.: Izd-vo ASV, 360 p.
6. Krivoshapko, S.N., Shambina, S.L. (2012) Design of developable surfaces and the application of twin-walled developable structures, *Serbian Architectural Journal*, Vol. 4, No. 3, Belgrad, p. 298-317.
7. Christian A. Bock Hyeng, Emmanuel B. Yamb. (2012) Application of Cyclic Shells in Architecture, Machine Design, and Bionics, *International Journal of Modern Engineering Research*, Vol.2, Iss. 3, p. 799-806.
8. Vanin, V.V., Virchenko, G.A. (2009) Vyznachennia ta osnovni polozhennia strukturo-parametrychnogo geometrychnogo modeliuвання, *Geometrychne ta Komp'uterne Modeliuвання*, Vyp. 23, Kharkiv: KHDUKHT, p. 42-48.
9. Vanin, V.V., Virchenko, S.G., Virchenko, G.I. (2014) Variantne modeliuвання geometrychnykh ob'ektiv metodom poliparametrizatsii, *Problemy Informatciynykh Tekhnologii*, №02 (016), Kherson: KHNTU, p. 76-79.
10. Vanin, V.V., Shambina, S.L., Virchenko, G.I. (2015) Variant computer shell prototyping based on polyparameterization of middle surfaces// *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2015, №6, p. 3-8.
11. Ivanov V.N. Romanova V.A. Design of the Forms of Space Structures (Visualization of the Surfaces at MathCad and AutoCad: Monograph, Moscow: Izd-vo ASV, 2016, 412 p.

THE USE OF COMPUTER DYNAMIC SHAPING FOR MODELING OF ENGINEERING STRUCTURES AND BUILDINGS

S.L. SHAMBINA*, S.G. VIRCHENKO**

*Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute», Kiev

This article analyzes some aspects of the use of variant dynamic shaping for computer-aided design of various engineering constructions and buildings. The proposed method is a further development of structural-parametric approach for geometric modeling of technical objects which was developed by scientific school of applied geometry National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute».

Key words: computer-aided design, dynamic variant shaping, engineering constructions and buildings, geometric modeling.