

Геометрия поверхностей и кривых

ПРИМЕНЕНИЕ БИОНИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И МЕТОДОВ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ В СОВРЕМЕННОМ АРХИТЕКТУРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

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

А.А. КАЗАРЯН, бакалавр архитектуры

Российский университет дружбы народов, Москва, shambina_sl@mail.ru

В статье рассматриваются современные архитектурные проекты, в основе которых лежит подобие тем или иным бионическим структурам; форма этих зданий исследуются с точки зрения аналитической геометрии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архитектура, бионика, геометрическая поверхность, оболочка, аналитическая геометрия, природные формы.

В прошлом природные формы нередко служили объектом для подражания архитекторов, которые интуитивно заимствовали те или иные черты природных объектов для своих сооружений. Это объясняется тем, что каждый природный объект имеет определенную гармоничную форму, причем эта форма всегда оправдана функционально. Следование природным формам позволяет не только создать эстетически привлекательное сооружение, но и в определенной степени обеспечить ему необходимую прочность, устойчивость, надежность и другие необходимые свойства. Существует множество прочных и красивых пространственных природных систем, таких как, раковины моллюсков, скелеты морских ежей, панцири насекомых, скорлупа птичьего яйца и многие другие.

Ещё в Древней Греции геометрия считалась одним из разделов архитектуры. Не исчезла связь архитектуры с математикой и в наши дни. Современный архитектор, помимо непосредственно архитектурных дисциплин, должен знать аналитическую геометрию и математический анализ, владеть методами математического моделирования, разбираться в основных законах механики и т.д.

Исследования, проведенные в данной статье, показали, что для многих природных форм, как и для объектов архитектуры, можно подобрать подходящую аналитическую поверхность, описывающую ту или иную форму [1]. Были изучены формы некоторых архитектурных сооружений, найден для них природный аналог и подобрана подходящая аналитическая поверхность. Для большинства аналитических поверхностей в [1] имеются соответствующие уравнения, поэтому сооружения, спроектированные на основе такого подхода, могут быть построены грамотно и надежно, не только радуя глаз окружающих, но и соответствуя всем необходимым требованиям, предъявляемым к зданиям и сооружениям с точки зрения их прочности, жесткости и устойчивости.



Рис. 1

<http://cvetivsamare.ru>



Рис. 2

<http://www.ayurtour.ru>



Рис. 3

<http://builddd.ru>

Перейдем к рассмотрению конкретных примеров. Цветок – это красивейшая природная форма, и архитекторы не могли обойти её вниманием. Например, на рис. 1 изображен цветок лотоса. Изумительный пример постройки в форме цветка - это знаменитый Храм Лотоса, который расположен на окраине Нью-Дели в Индии (рис. 2). Завоевавший множество архитектурных наград, он по праву может считаться жемужиной Индии.

Другой интересный пример – вилла «Casa Folha» на побережье города Ангра-дус-Рейс в Бразилии (рис. 3), спроектированный архитекторами бюро *Margines + Patalano Arquitetura*. В переводе с испанского Casa Folha означает «дом-лист». Математически смоделировать такие формы можно по-разному. Например, путем комбинации нескольких одинаковых элементов аэрогидродинамической поверхности с непрерывным каркасом плоских кривых - ватерлиний в форме обобщенных аньезиан (рис. 4). Это поверхность 6-го порядка с аньезианой, эллипсом, параболой в 3-х главных координатных сечениях и имеющая одну плоскость симметрии *YOZ*. Неявная форма задания этой поверхности имеет вид:

$$y = \frac{L^2 \cdot (T - z) \cdot B \cdot \sqrt{T^2 - z^2}}{T \cdot [4 \cdot x^2 \cdot T + L^2 \cdot (T - z)]} - \frac{B}{2 \cdot T} \cdot \sqrt{T^2 - z^2}. \quad (1)$$

Также поверхности в виде цветка или в форме морской звезды можно смоделировать, например, из повторяющихся отсеков одной из поверхностей Кунса. Поверхности Кунса и возможности архитектурного проектирования на их основе были подробно рассмотрены в ряде работ, например, в [2].

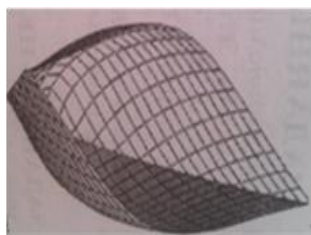


Рис. 4

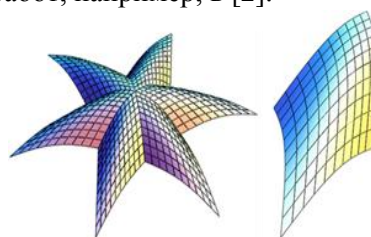


Рис. 5

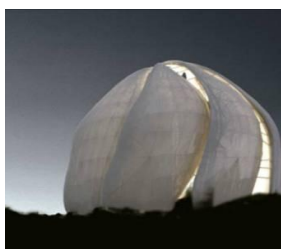


Рис. 6



Рис. 7



Рис. 8

<http://www.zoomex.ru>

<http://vipaquarium.okis.ru>

Архитектурная фирма «*Nariri Pontarini Architects*» из Торонто разработала один из храмов самой молодой религии в мире - Бахаи. Этот храм, построенный недалеко от города Сантьяго (Чили), называется «Храм Света» или «Дом Поклонения» (рис. 6). Храм состоит из девяти полупрозрачных «лепестков», похожих на лепестки кувшинки (рис. 8). Эти лепестки расположены таким образом, что в течение дня солнечный свет может проникать в храм и освещать внутреннее пространство. А ночью за счет внутреннего искусственного освещения храм как бы сияет изнутри, что производит незабываемое впечатление.

Геометрическое описание данного сооружения можно выполнить при помощи ротативной поверхности с аксоидами «конус-конус» (рис. 7), которая образуется параболой при наружном обкатывании.

Следующий впечатляющий пример сооружения в форме цветка белой кувшинки (рис. 9) – это спроектированное архитекторами Сантьяго Калатрава и Феликсом Канделой здание Океанариума (рис. 10), входящего в комплекс «Город науки и искусства» в Валенсии (Испания). Форма этого здания может быть описана зонтичной поверхностью, представляющей собой параболоид вращения с радиальными волнами (рис. 11). Он формируется плоскими параболами, вершины которых совпадают с центральной фиксированной точкой.

Параметрическая форма задания этой поверхности такова:

$$x = x(u, v) = u \cos v, \quad y = y(u, v) = u \sin v, \quad z = z(u, v) = [a \sin(nv) + b] u^2. \quad (2)$$

На рис. 12 изображены листья плавающего растения водяной салат (*Pistia stratiotes*), произрастающего в тропиках, и в то же время хорошо известного ак-



Рис. 9

<http://www.plantarium.ru>



Рис. 10

<http://fotopets.ru>

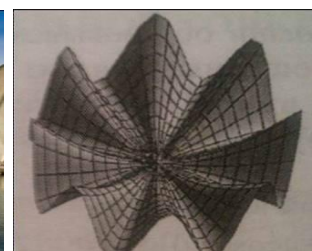


Рис. 11



Рис. 12

<http://aquarium.ru>



Рис. 13

<http://www.membrana.ru>

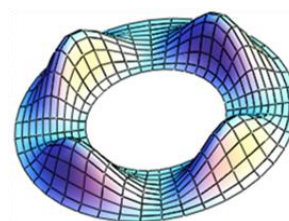


Рис. 14

вариумистам. А теперь взглянем на рис. 13, на котором изображен проект огромного плавающего города французского архитектора бельгийского происхождения Венсана Каллебо (Vincent Callebaut) - «Lilypad». Сходство очевидно. «Lilypad» - это экогород, рассчитанный на 50 тысяч жителей, в котором предусмотрено множество энергосберегающих и природозащитных технологий: солнечные батареи, энергия ветров и приливов, энергия биомассы Земли и т.д. Несомненно, что этот город является самодостаточным, а архитектор Венсан Каллебо - архитектор, который проектируя здания, смотрит далеко в будущее.

Геометрическим аналогом для этого объекта является поверхность велароидального типа на кольцевом плане с двумя семействами синусоид (рис. 14) [3].

Британский архитектор болгарского происхождения Цветан Тошков разработал футуристическую концепцию небоскребов «City in the Sky» (рис. 15), верхняя часть которых тоже имеет форму цветков лотоса. Целью комплекса «City in the Sky» было создать зеленый оазис над загрязненными и задымленными городами. Цветок лотоса был взят за основу проекта, потому что он способен расти в мутных водах, цветы над их поверхностью. Формообразование верхней части зданий было рассмотрено ранее. А нижняя часть этих зданий может быть описана поверхностью, изображенной на рис. 17 [1]. Это поверхность вращения, заданная гармонической функцией $z = \ln[x^2 + y^2]^{1/2}$.



Рис. 15

<http://www.novate.ru>

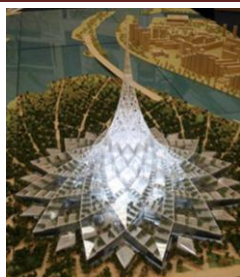


Рис. 16

<http://www.novate.ru>

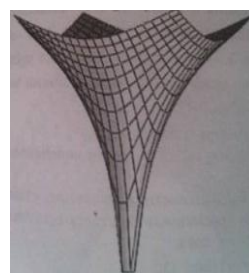


Рис. 17

На рис. 16 изображен проект «Кристалльный Остров» (архитектор Норман Фостер), который планируют к постройке в Москве, в Нагатинской пойме. По задумке это здание должно стать самым высоким зданием в мире. На его строительство, которое по предварительным расчетам будет завершено через 5 лет, планируют потратить 4 млрд. долларов. Здание высотой около 457 метров будет включать в себя около 900 квартир, 3000 гостиничных номеров, межнациональную школу для 500 студентов, кинотеатры, театры, спортивные комплексы и многое другое. Также запланировано 16500 парковочных мест для подземной стоянки автомобилей. Посетители Кристалльного Острова смогут увидеть панораму Москвы со смотровой площадки, находящейся на высоте 298 метров. На южном фасаде можно будет расположить панели солнечных батарей, которые, наряду с ветряными турбинами, будут производить электричество для этой огромной башни. Для описания формы здания подходит поверхность, изображенная на рис. 17.

Малазийские архитекторы студии «Sarly Adre Bin Sarkum» спроектировали плавучий город «The NO₂+ scraper», состоящий из «водоскребов» или, иначе говоря, «подводных небоскребов» (рис. 18). Форма этих «водоскребов» визуально очень похожа на поверхность сопряжения двух соосных цилиндров разных диаметров (рис. 19) [1]. Эта поверхность образуется вращением косинусоиды вокруг общей оси двух сопрягаемых цилиндров и является частью гофрированной поверхности вращения общей синусоиды. Параметрическая форма задания этой поверхности имеет вид:



Рис. 18

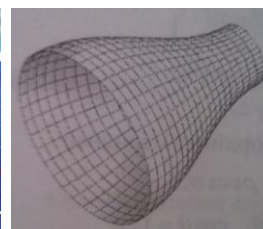


Рис. 19

<http://www.novate.ru>

$$x = x(\alpha, \beta) = r(\alpha)\cos\beta; y = y(\alpha, \beta) = r(\alpha)\sin\beta; z = \alpha. \quad (3)$$

На рис. 20 изображены необычные здания «Дома - грибы» в городе Роче-



Рис. 20

<http://blog-interior.com>



Рис. 21

<http://foto.rambler.ru>

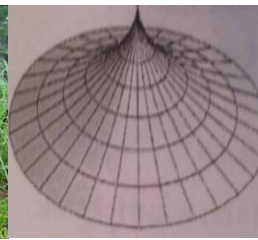


Рис. 22

стер, спроектированные архитектором Джеймсом Х. Джонсоном. А на рис. 21 изображен уже настоящий гриб. Эти два изображения поразительно похожи!

Для геометрического описания таких форм можно использовать гиперболологарифмическую поверхность вращения (рис. 22).

Скорлупа птичьего яйца с давних пор являлась эталоном прочности для архитекторов. Отношение диаметра куриного яйца к толщине его скорлупы в среднем равно 1:130. С появлением железобетона стало возможным строить своды с соотношением 1:1800. Описать эту форму математически можно при помощи поверхности вращения четвертого порядка под названием «Яйцо» (рис. 23). Оболочки-скорлупы широко применяются в покрытиях различных зданий, а форма яйца по-прежнему вдохновляет архитекторов.

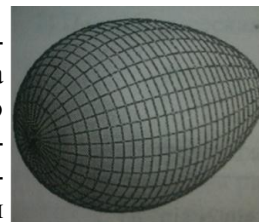


Рис. 23

Например, в Киеве создан проект 44-этажного торгово-офисного центра «Писанка» (рис. 24). Вся наружная оболочка является гигантским светодиодным экраном, на который можно загружать любое оцифрованное изображение, например, самосветящийся и изменяющийся рисунок украинской Писанки.



Рис. 24



Рис. 25



Рис. 26

<http://rabid-worg.livejournal.com>

<http://architector.ua>

<http://trasyy.livejournal.com>

Уникальная часовня в форме куриного яйца «Egg Chapel» (рис. 25) была спроектирована нью-йоркским архитектором Эндрю МакНейром и построена в окрестностях Мунхо-Ри, недалеко от Сеула. Составные части из дерева были изготовлены мастерами по строительству лодок на Род-Айленде и в Нью-Йорке, а затем доставлены в виде 12 вертикальных секций в южнокорейский Инчон. Часовня, имеющая 9 м в высоту и 6,6 м в ширину, построена над бетонным склепом, который является основой фундамента и одновременно подземной комнатой. Вход в часовню, расположенную высоко в горах провинции Yang-ryeong, обращен к югу, чтобы в полдень дневной свет мог проникать в центр строения и освещать алтарь. На рис. 26 показано здание-яйцо Cybertecture Egg в Мумбае (Индия), спроектированное компанией James Law Cybertecture International. Это ультрасовременное здание сочетает в себе символическую архитектуру, дизайн среды, возможности «умного» дома и много еще других инженер-



Рис. 27



Рис. 28



Рис. 29



Рис. 30

<http://www.nice-places.com>

www.euromag.ru

<http://matrix-jehova-ire.narod.ru>

ных достижений. Помимо прочего, архитекторы предлагают использовать инновационные компьютерные технологии, которые позволят контролировать и выводить на специальные экраны информацию о состоянии здоровья людей, находящихся внутри, например, их кровяное давление или вес. Благодаря своей форме, поверхность здания сможет аккумулировать энергию солнца при помощи солнечных батарей и ветряных установок.

В 2000 году в г. Коломыя в Ивано-Франковской области (Украина) был открыт музей расписных яиц - Музей писанки (рис. 27). Здание музея, представляющее собой расписное яйцо высотой 13 м. и диаметром 10 м, было построено всего за 90 дней. Оно изготовлено из цветного стекла – общая площадь витражей составляет более 600 м². Музей владеет коллекцией из более 6000 писанок, привезенных из различных областей Украины, а также из Пакистана, Шри-Ланки, Беларуси, Польши, Чехии, Швеции, США, Канады, Франции, и Индии.

В немецком городе Винтерберге в 2012 году открылся новый 4-звездочный отель “Oversum Vital Resort”, имеющий форму яйца (рис. 28). Название отеля-яйца происходит от латинских слов «яйцо» (Ovum) и «Вселенная» (Universum). Авторы проекта взяли за основу форму яйца, так как эта форма хорошо вписывалась в ландшафт. Отель имеет 7 этажей с 22 номерами. Форма яйца использована также в архитектуре двух зданий, расположенных в Испании - музея El Port Lligat (рис. 29) и театра-музея Сальвадора Дали в г. Фигейрос (рис. 30).

Формы раковин и моллюсков тоже нашли свое отражение в архитектуре: дом «Стромбус» (рис. 31) и его прообраз - раковина *Стромбус Гигас* (рис. 32).

Дом-Стромбус описывается поверхностью «Морская ракушка» (рис. 33).

Прообразом спроектированного архитектором Хавьером Сеносианом и построенного в 2006 г. дома «Наutilus» в Мехико (рис. 34) послужила раковина

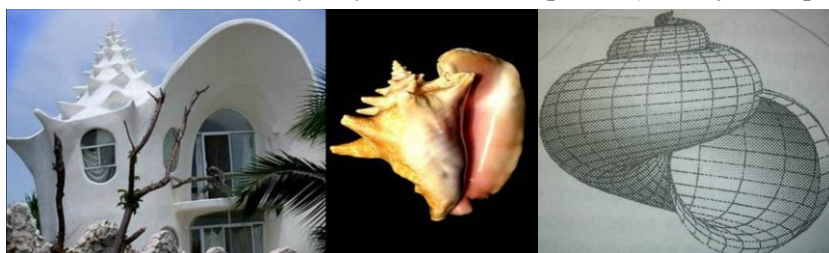


Рис. 31

Рис. 32

Рис. 33

<http://chebatkov.livejournal.com>



Рис. 34

Рис. 35

Рис. 36

<http://chebatkov.livejournal.com>

моллюска *Наutilus* (рис. 35). Вся конструкция была выполнена из армированного стальными сетками армоцемента толщиной 5 см, который отлично подходит для изготовления тонкостенных конструкций. Дом-Наutilus описывается поверхностью «Спиральный шнек» (рис. 36).

На рис. 37 показан проект биоклиматического дома (автор А. Ремизов), который получил диплом I международного фестиваля инновационных технологий в архитектуре и строительстве «Зеленый проект 2010».



Рис. 37



Рис. 38



Рис. 39

<http://blogmira.ru>

<http://www.archimir.ru>

Отель «Ноев ковчег» (рис. 38) - еще один проект здания похожей формы, созданный российскими дизайнерами из «Remistudio». Благодаря своей форме это сооружение является универсальным, ему не страшны климатические катастрофы, такие, как наводнения, цунами, землетрясения, а так же оно может быть расположено и на воде, и на суше. Особенность этого сооружения в равномерном расположении тросов и арок, с помощью которых оно и становится неуязвимым в случае различных стихийных бедствий. Необходимая энергия получается за счет солнечных батарей, а вода добывается сбором дождевых осадков. Оба эти здания очень похожи по форме на раковину, изображенную на рис. 39. Геометрически такую форму можно описать трубчатой поверхностью с плоской линией центров в форме циклоиды (рис. 40).

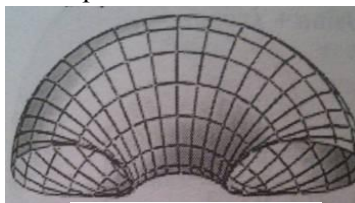


Рис. 40

Белорусская архитектурная компания Varabyeu Partners разработала проект необычного архитектурного сооружения, которое расположится в центральном парке Дубаи - Zabeel Park. Это будет здание New Moon (рис. 41) в виде белого полумесяца – символа мусульманской веры. Форма здания должна подчеркнуть процветание современных Объединенных Арабских Эмиратов. Это будет пятиэтажное здание, каждый из этажей которого символизирует один из Столпов Ислама: веру (шахада), молитву (саят), благотворительность (закят), пост (сыям) и паломничество (хадж). В здании расположатся обсерватория, конференц-зал, кафе, детская библиотека и стол взаимопомощи. Архитектурное решение New Moon позволяет регулировать уровень освещенности и температуры воздуха на разных его уровнях, защищает интерьер от прямых солнечных лучей и обеспечивает свободную циркуляцию воздушных потоков. Эти и другие средства пассивной защиты позволяют создать внутри здания особый микроклимат и уменьшить нагрузку на системы электроснабжения здания.



Рис. 41

<http://www.novate.ru>



Рис. 42

<http://www.mirkrasiv.ru>

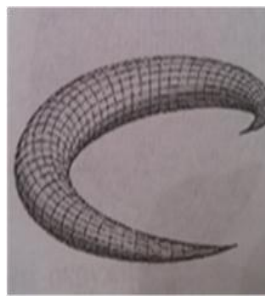


Рис. 43

Американская компания Transparent House представила свой проект под названием «Crescent Moon Tower» (рис. 42) – небоскреб в виде полумесяца. Конструкция должна символизировать современный облик Дубая. По словам архитекторов из мастерской Transparent House, их концептуальная «лунная башня» объединяет в себе символическую для мусульман форму с современными технологиями и методами строительства.

Форма этих двух зданий может быть описана аналитической поверхностью под названием «Рожок» (рис. 43). Это циклическая поверхность с образующими окружностями переменного радиуса в плоскостях пучка с винтовой линией центров постоянного шага. Параметрическая форма задания этой циклической поверхности [1] имеет вид:

$$\begin{aligned} x &= x(u, v) = [a + \sin(b\pi u)\sin(b\pi v)]\sin(c\pi v); \\ y &= y(u, v) = [a + \sin(b\pi u)\sin(b\pi v)]\cos(c\pi v); \quad z = z(u, v) = \cos(b\pi u)\sin(b\pi v) + hv, \end{aligned}$$

где a, b, c, h – константы, причем b – число рожков в заданном диапазоне изменения v ; $0 \leq v \leq 1$.

Архитектура в Дубае не перестает поражать своим великолепием и грандиозностью. Существует архитектурный проект для Дубаи (ОАЭ), претендующий на звание нового чуда света. Здания напоминают по форме пламя горящей свечи (рис. 44). Это будет комплекс из 4 башен от 54 до 97 этажей (рис. 45).



Рис. 44



Рис. 45

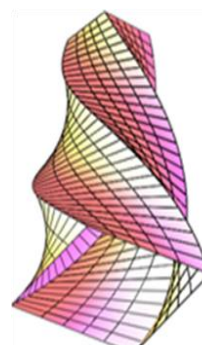


Рис. 46

<http://www.etoday.ru>

Подобная форма схожа с формой многогранной криволинейной коробчатой поверхности (рис. 46).

В последнее время вопросы архитектурной бионики достаточно широко исследуются, как в нашей стране, так и за рубежом [4 – 10]. Однако все авторы ограничиваются рассмотрением визуальных аналогий архитектурных и природных объектов. В данной статье делается попытка выявить тройственную связь между природой, архитектурой и аналитической геометрией, рассмотрены примеры, наглядно демонстрирующие это. Использование природных форм в архитектуре позволяет создавать эстетически привлекательные и конструктивно оправданные сооружения, а аналитическая геометрия, давая необходимую математическую составляющую, позволяет сделать необходимые расчеты даже весьма сложных по форме сооружений, что представляется весьма актуальным.

Л и т е р а т у р а

1. *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. - 560 с.

2. *Иванов В.Н.* Архитектурные композиции на основе поверхностей Кунса// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2007, № 4. – С. 5-10.

3. *Krivoshapko S.N., Shambina S.L.* Исследование поверхностей велароидального типа с двумя семействами синусоид на кольцевом плане// *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. - 2009, №4. – С. 9–12.
4. *Dusan Randelovic* Surface geometry as an impression of contemporary architectonic forms / *Proc. of the 3rd Intern. Scientific Conference moNGeometrija 2012, Serbia, Novi Sad, June 21st-24th 2012; Novi Sad: Faculty of Technical Sciences, 2012.* - P. 213 – 221.
5. *Саморай В.И.* Современные тенденции в архитектурной бионике. [Текст]: автореф. дисс. на соискание академ. степени магистра архитектуры / В.И. Саморай. – Ростов-на-Дону, 2010.
6. *Krivoshapko S.N., Shambina S.L.* Design of developable surfaces and the application of thin-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 (IJMER)* - Vol. 2, Issue. 3, May-June 2012. –P. 799 – 806.
8. *Sumec J., Jendzelovsky N., Kormanikova E., Kotrasova K.* Architectural bionics in civil engineering// *Machines, Technologies, Materials: International virtual journal*. –Sofia, 2010, No.6. – P. 33 – 36.
9. *Abdul Sathar TK.* Bionics in membrane architecture// *The Masterbuilder. India's premier construction magazine*. - August 2013. - P. 128 – 134.
10. *Davood Rezaei, Mohamad Zare.* Plants in arid climate as a pattern for bionic architecture in behavioral viewpoint // *Canadian Journal on Environmental, Construction and Civil Engineering*. - Vol. 2, No. 6, September 2011. - P. 141 – 146.

References

1. *Krivoshapko SN, Ivanov VN* (2010). *Entsiklopediia Analiticheskikh Poverkhnostei*. М.: Knizhnyi dom «LIBROKOM», 560 p.
2. *Ivanov VN* (2007). *Arkhitekturnye kompozitsii na osnove poverkhnostei Kunsu. Stroitelnaia mekhanika inzenernykh konstrukticii i sooruzhenii*, № 4, p. 5-10.
3. *Krivoshapko SN, Shambina SL* (2009). *Issledovanie poverkhnostei velaroidalnogo tipa s dvumia semeistvami sinusoid na koltcevom plane. Stroitelnaia mekhanika inzenernykh konstrukticii i sooruzhenii*. №4, p. 9–12.
4. *Dusan Randelovic* (2012). *Surface geometry as an impression of contemporary architectonic forms. Proceedings of the 3rd International Scientific Conference moNGeometrija 2012, Serbia, Novi Sad, June 21st-24th 2012; Novi Sad: Faculty of Technical Sciences, p. 213 – 221.*
5. *Samorai VI* (2010). *Sovremennye tendentsii v arkhitekturnoi bionike: Avtoref. diss. na soiskanie akadem. stepeni magistra. arkhitektury*, Rostov-na-Donu.
6. *Krivoshapko SN, Shambina SL* (2012). *Design of developable surfaces and the application of thin-walled developable structures. Serbian Architectural Journal (SAJ)*, Vol. 4, No. 3, 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 (IJMER)*, Vol. 2, Issue 3, p. 799 – 806.
8. *Sumec J, Jendzelovsky N, Kormanikova E, Kotrasova K* (2010). *Architectural bionics in civil engineering. Machines, Technologies, Materials: International Virtual J*, Sofia, No. 6, p. 33 – 36.
9. *Abdul Sathar TK* (2013). *Bionics in membrane architecture. The Masterbuilder. India's premier construction magazine*, August 2013, p. 128 – 134.
10. *Davood Rezaei, Mohamad Zare* (2011). *Plants in arid climate as a pattern for bionic architecture in behavioral viewpoint. Canadian Journal on Environmental, Construction and Civil Engineering*, Vol. 2, No. 6, September 2011, p. 141 – 146.

APPLICATION OF BIONIC FORMS AND APPROACHES OF ANALYTICAL GEOMETRY TO MODERN ARCHITECTURAL DESIGN

Shambina S.L., Kazarian A.A.

The article deals with modern architectural designs, which are based on some kind of bionic forms, The shape of these buildings have been studied from the point of view of analytic geometry.

KEYWORDS: architecture, bionics, geometric surface, shell, analytical geometry, natural forms.