ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЕ

УДК 69.07:721:004.9
ББК 85.11:32.81

О.В. Гоголкина
ООО «Модуль-Арт», Истра, Московская область, Россия

Аннотация
В статье рассмотрена проблема параметрического формообразования во взаимосвязи с пространственными конструкциями, где при построении численных моделей используются линейные преобразования. Решение задач параметрической архитектуры определяется применением методов математического моделирования алгоритма преобразования данных на основе многоуровневого внедрения вычислительной техники. Формирование поверхности сложной формы выполняется посредством линейных уравнений, сплайнов, алгебраических кривых, геометрической комбинаторики, обработки средствами аппроксимации, компьютерной визуализации. Конструктивная параметризация в трехмерном моделировании позволяет создавать идеальные нелинейные архитектурные формы.[1]

Ключевые слова: параметрическая архитектура, пространственные конструкции, математическое, моделирование, алгебраические кривые, линейные уравнения, нелинейная функция

CONSTRUCTIONS FORMATION FEATURES IN THE PARAMETRIC ARCHITECTURE

O. Gogolkina
«Module-Art» Ltd, Istra, Moscow District, Russia

Abstract
Paper is devoted to the problem of parametric shaping in relation to spatial constructions, where linear transformations are used in the construction of numerical models. The solution of the problems of the parametric architecture is determined by the application of methods of mathematical modeling of the data transformation algorithm, based on the multilevel introduction of computer technology. Formation of the surface of a complex shape is formed by linear equations, splines, algebraic curves, geometric combinatorics, processing by means of approximation, computer visualization. Constructional parametrization in three-dimensional modeling allows creating ideal nonlinear architectural forms.[2]

Keywords: parametric architecture, spatial constructions, mathematical modeling, algebraic curves, linear equations, nonlinear function

Основной целью исследования является определение подхода к пространственному формообразованию объекта посредством трехмерного геометрического моделирования в рамках параметрического направления, где идеальная геометрическая форма становится

---

[1] **Для цитирования:** Гоголкина О.В. Особенности формирования конструкций в параметрической архитектуре // Architecture and Modern Information Technologies. – 2018. – №1(42). – С. 355-363 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/25_gogolkina/index.php

[2] **For citation:** Gogolkina O. Constructions Formation Features in the Parametric Architecture. Architecture and Modern Information Technologies, 2018, no. 1(42), pp. 355-363. Available at: http://marhi.ru/eng/AMIT/2018/1kvart18/25_gogolkina/index.php

результатом архитектурного моделирования. Конструктивная параметризация выступает как способ решения задач параметрического моделирования. Параметры архитектурной формы с пространственными конструкциями объединены в единую параметрическую систему, где изменения в одной из подсистем вызывают изменения в другой.

Большинство исследовательских работ по рассматриваемой теме посвящено предпосылкам возникновения нелинейной архитектуры [9,11], вопросам возникновения параметризма как стиля архитектуры [1,2,5-10,12-15]. Фрагментарно изучены проблемы цифрового проектирования параметрических моделей, использование параметрических плагинов и их приложений [16], геометрического моделирования в различных областях [3,4]. Однако, на наш взгляд, недостаточно внимания уделено комплексному исследованию в области моделирования форм как основы при проектировании пространственных конструкции и решения архитектурно-строительных задач. В наибольшей степени в научных работах в области параметрического формообразования чувствуется отсутствие корреляционной связи с инженерной геометрией посредством программных комплексов. Актуальность выполненного исследования определяется также дифференцированностью информации и недостаточностью исследований в области геометрического моделирования посредством конструктивной параметризации, линейных или нелинейных преобразований.

С появлением потребностей в применении более сложных параметров геометрической модели проектируемого объекта, в архитектурной интерпретации абстрактных построений в первом десятилетии XXI века необходимость в изменении параметров архитектурных форм на стадии предпроектного анализа стала одним из значимых направлений в мире компьютерного архитектурного программирования. Такого рода вид моделирования приобрел название «параметрическое проектирование» («нелинейная архитектура»). Этот способ архитектурного проектирования тесно связан с проектированием архитектурных форм с математическими цифровыми представлениями о сложной упорядоченности систем органической и неорганической природы, основаными на использовании методов параметрического моделирования и компьютерных технологий. Архитектор и доктор философии, один из ведущих идеологов «параметризма» (от греч. – *соразмеряю*) П. Шумахер заявил о новом направлении как о величине, характеризующей какое-либо свойство устройства, процесса, вещества, среды, где дигитальная, генеративная и алгоритмическая архитектура стали параметрикой [5]. Параметризм им позиционируется как неоавангардный стиль в современной архитектуре, который стал эпохальным явлением.

Футуристические идеи изогнутых поверхностей, их визуализация нашли отражение в неоднотипных проектах творческой мастерской «Zaha Hadid Architects» (ZHA) архитектора Заха Хадид, где теория параметризма как нового способа проектирования заявила о себе в архитектурном дизайне. Новое направление укрепилось в виде цифровой морфологии разнообразных криволинейных форм. Математическое моделирование алгоритмов и формул позволило создавать идеальный объем со сложными изгибами и формами. С развитием инновационных дизайнерских систем и скриптовых методов параметризм стал доминирующим в авангардистской практике. Посредством вычислительной техники, симбиоза САПР и численных методов в виде единой системы появилась возможность реализации математических абстракций нелинейного дизайна посредством цифровой, алгоритмической, дигитальной архитектуры на базе программного обеспечения CAD, CAE, CAM, BIM, Rhinoceros + Grasshopper, Revit + Dynamo (Autodesk), Generative Components (Bentley Systems) с использованием NURBS-геометрии, Grasshopper 3D и др.

Параметрический урбанизм был продемонстрирован серией градостроительных проектов студией «Zaha Hadid Architect» (рис. 1,2), а также исследован в лаборатории Школы Архитектурных Ассоциаций (AADRL). Практика проектирования нелинейной архитектуры нашла широкое применение среди дистанцирующих и группирующих моделей природных структур Фрая Отто, институт легкой промышленности (ILEK) в Германии. Аналоговые модели брались за основу эмпирических расчетов строительных форм в виде скалярных

уравнений транспортных сетей. С другой стороны, параметрическая архитектура Format Elf Architekten, Frank Owen Gehry ориентирована на декоративное формообразование объемов, результатом которых становится взаимодействие окружающей среды и интегральной математики в виде реакции поверхности объекта на изменения условий внешней среды.

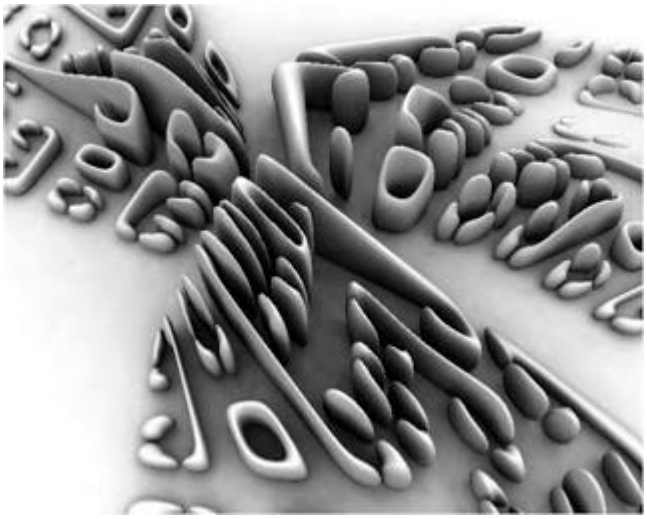

Рис. 1. Изучение ткани, вариация каллиграфического квартала

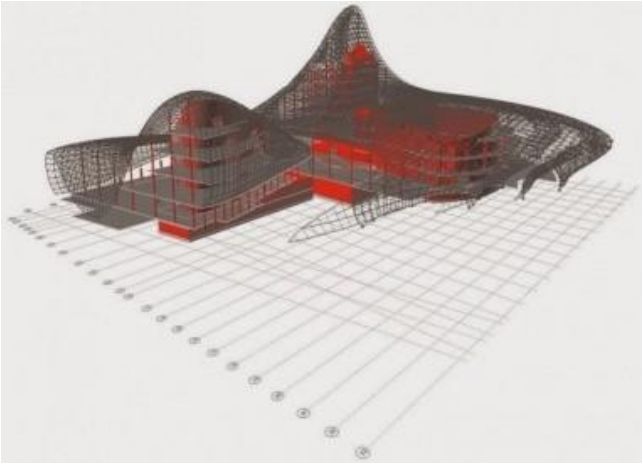

Рис. 2. Эскиз Центра Гейдара Алиева в Баку, пространственная модель

Фрактальные конструкции были применены в параметрических проектах Lindenmayer System (L-Sistems), где предложена математическая модель разнообразных природных структур. Основная идея L состоит в перезаписи элементов строки и представляет собой двумерные и трехмерные фракталы, повторяющиеся модели разнообразных структур. Параметрические эксперименты скульптурной пластики нашли отражение в таких проектах как небоскреб Sunrise Tower в Куала-Лумпуре (Малайзия, Zaha Hadid Architects), Государственный Музей Луизианы в Натчиточесе (США, Trahan Architects), Баоань в Шаньчжэне (Китай, Massimiliano Fuksas Architecture), здание культурного центра в Харбине (Китай, AD Architects).

Носителями достаточных ресурсов для подготовки студентов в области формотворчества параметрического моделирования являются ведущие архитектурные школы: AA School (Лондон, Великобритания); IAAC (Барселона, Испания); TUDelft (Делфт, Нидерланды); MIT (США, Массачусетс); RMIT (Мельбурн, Австралия); Sky–Arc (Лос-Анжелес); Columbian

University (Нью-Йорк); Angevande (Австрия). Эти архитектурные школы достаточно активно популяризуют нетрадиционные методы нелинейного построения объекта на основе информационного моделирования и умения использовать параметрические программы для создания сложных архитектурных объектов.

Формирование пластических форм в случае параметрического проектирования происходит с учетом не только функциональных, но и конструктивных особенностей объекта. Трансформация форм производится проектировщиками на основании сведений о новейших строительных конструкциях, материалах. Несмотря на то, что в базе проектировщиков имеются универсальные схемы для разнообразных строительных материалов, в наибольшей степени конструктивные схемы напрямую связаны с материалом.

Для обеспечения необходимой жесткости, устойчивости, а также прочности пространственной конструкции разрабатывается математическая модель сооружения с параметрами, воздействующими при изменении конфигурации детали. Специальное программное обеспечение SAP 2000, STAAD pro, SOFiSTiK, программы для работы со смежными задачами для конструктивного и инженерного расчета позволяют объединить методы и модели в единую параметрическую систему в архитектурном моделировании при проектировании, а также изготовлении конструкций. Параметризация пространственных конструкций при этом выступает в виде введения числовых параметров при отображении геометрических взаимосвязей, которые соединяют определенные размеры элементов сооружения посредством компьютерной визуализации. Для моделирования пространственных конструкций создают сетевую структуру, состоящую из показателей конструктивных элементов, связей между ними. Далее устанавливают количественные и пространственные отношения элементов модели посредством каркасных моделей с описанием уравнений кривых, полигональных моделей, координат точек, онлайн-моделей, а также с применением методов аппроксимации и интерполяции.

Параметрическая архитектура практически является вычислительным дизайном, который, в свою очередь, состоит из нескольких подразделов: параметрическое генеративное проектирование; проектирование с помощью движущих кинетических конструкций.

В основе параметрического генеративного проектирования лежат неповторяющиеся элементы. Проектировать это обычным способом невозможно. Например, проект, состоящий из более чем 7000 узлов сопряжения стекла и конструкции, где каждый узел разный, вычертить в ArchiCad или Revit практически невозможно. В этом случае поступают следующим образом. Разрабатывается отдельный конструктивный узел и превращается в параметрический, т.е. задаются параметры, в пределах которых он может изменяться, следовательно, каждый конкретный последующий узел создает нужное сочленение в зависимости от исходной поверхности. Производятся такие конструкции станками ЧПУ (числовое программное управление). Файл с параметрическим описанием конструкции отправляется на производство для изготовления детали.

Распространение станков с ЧПУ способствовало появлению сложных объектов в вычислительном дизайне. Все конструктивные элементы крепятся на болтах, благодаря чему строительная площадка остается свободной и отпадает необходимость в специальной технике для доставки частей объекта на место возведения. Важную роль играет при этом точность конструкции за счет заводского изготовления. Это самый простой пример реализации сложной формы в производственной части. Так, например, компания ONL, во главе которой стоит архитектор Кас Остерхейс и художник Илона Ленард, следуют именно системе параметрического генеративного проектирования. Ярким примером реализации сложной формы является акустический барьер или шумозащитная стена с демонстрационным залом для Гессинга, продавца

элитных роскошных и спортивных автомобилей. Объект расположен в Утрехте и имеет протяженность 1500 метров (рис. 3).

Параметрический дизайн может быть определен как способ связывания размеров и переменных с итоговой геометрией таким образом, чтобы при изменении исходных значений конечная часть также изменялась. Поэтому используя САПР и другое программное обеспечение, архитектор может создавать сложные формы, которые могут быть легко изменены во время процесса проектирования. Этот метод также позволяет дизайну реагировать на контуры строительной площадки, чего не позволяют выполнить более традиционные методы.

В связи с удобством доставки готовых элементов здания их компактность является огромным плюсом для строительства зданий и сооружений, например, на прибрежных рекреационных территориях, а также в районах, загроможденных застройкой.

Рис. 3. Шумозащитная стена в Утрехте

Параметрическая архитектура Заха Хадид представляет собой комплекс алгоритмов сложных математических уравнений, которые преобразуют объем, придавая ему техническое и экономическое воплощение. Так, например, использование алгоритмов кинематического моделирования поверхностей однополостных гиперболоидов и гиперболических параболоидов с использованием операции переноса их прямолинейных образующих дает возможность выполнить расчеты для изготовления строительных конструкций [3, с.76]. Широкое применение сетчатых оболочек еще в 70-е годы XX века архитекторами Хьюго Херинг и Фрай Отто стало примером возможности создания криволинейных форм. Успешно зарекомендовали себя сетчатые оболочки и в проектах Норманна Фостера.

Безграничные возможности в формообразовании параметрической архитектуры открываются при применении сплайновых линий, узлов сплайна посредством метода интерполяции полиномами Лагранжа и Ньютона, чередующихся сплайнов (рис. 4), алгебраических кривых третьей и четвертой степени.

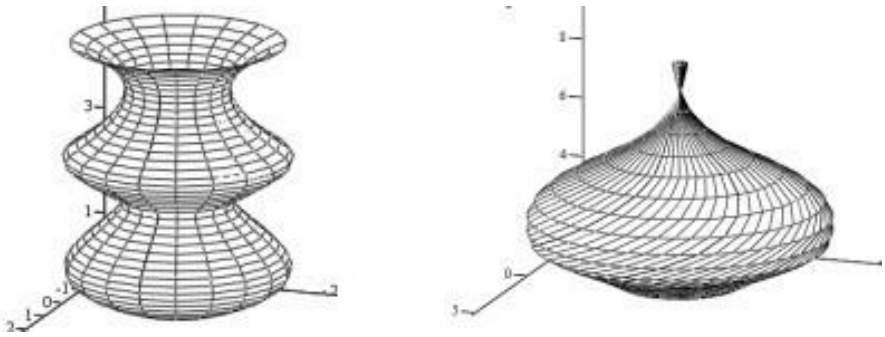

Рис. 4. Поверхность вращения с образующими в виде чередующихся сплайнов

Наибольшими достоинствами обладают кубические сплайны за счет гладкости их второго порядка. Целесообразность применения поверхности с направляющей, образующей в форме цепной линии, при проектировании «горбатых» мостов, опор виадуков, перекрытий зданий стальными тентами было представлено английским экспериментатором Робертом Гуком в XVII веке. Концепция перевернутых моделей сводов была реализована в проектах Антонио Гауди и воспринята современными архитекторами параметрического дизайна. Реализации алгоритма тентовых конструкций или многоклинного шатра производится в программной среде, где формируются алгоритмы трансформации поверхностей.

В параметрическом проектировании или в вычислительном дизайне используется множество разных подходов:

1) Алгоритмический подход в проектировании, который генерирует форму. Это так называемый алгоритм «Игра в жизнь», где берется несколько исходных точек, и для каждой точки используется одно и то же правило. Если у точки есть пять соседей, она умирает при следующем шаге, а если есть два соседа, она рождает третьего. Такой метод используется для генерации, например, урбанистического массива с целью сгенерировать большой объем градостроительной ткани по плотности, структуре и форме. Помимо градостроительного применения данный метод применяется в проектировании нестандартных конструкций для «параметрической архитектуры». Алгоритмический подход может применяться и как «диаграмма Вороного», где многоугольники или ячейки называются локусами, а алгоритмы построения диаграммы являются алгоритмами построения этих самых локусов для всех точек из заданного набора. Соответственно, определение *диаграммы Вороного n точек на плоскости* (n – натуральное) – это *разбиение плоскости*, состоящее из *n локусов*, что соответственно применяется для каждой точки по заданному локусу [6].

2) Генетические алгоритмы – это система естественного отбора, так называемая проверка на устойчивость. Идея данной системы – исключение в специальной программе элементов с плохой несущей способностью и последующим скрещиванием остальных конструктивных элементов между собой. Целью вышеперечисленных манипуляций является выявление самых жизнеспособных конструкций. В этом процессе важным аспектом является обязательное присутствие мутации. Генетический алгоритм или генеративное проектирование осуществляется методом естественного отбора.

3) Симуляция физики для разработки идеальной конструкции – это процесс получения формы путем запуска симуляции какого-либо физического процесса. В итоге получается некий результат, который оценивается как подходящий или нет. Примером является эксперимент Фрая Отто «Phisical Simulation» с нитками, произведенный, надо отметить, без каких-либо компьютерных технологий. Другой вариант – оптимизация на основе реальных поверхностей.

Геометрическое моделирование – процесс последовательного включения конструктивной геометрии, основанный на задании информационного массива. Геометризация объекта, пространственное конструирование в трехмерном моделировании – необходимые компоненты решения задач параметрической архитектуры, которые можно использовать в практике проектирования разнообразных объектов и которые в полной мере используют современные информационные технологии.

Источники иллюстраций

1. Рис. 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://4.bp.blogspot.com/-o-_KF3rp010/UmWHOUi--eI/AAAAAAAAAHs/uBYTUUXk0mg/s1600/image023.jpg
2. Рис. 2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.pvsm.ru/images/2017/02/02/parametricheskaya-arhitektura-budushego-zahi-hadid-12.jpg

3. Рис. 3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://archidose.blogspot.ru/2006/07/acoustical-barrier-hessing-cockpit.html
4. Рис. 4. Варчук С.Б. О приближении кривых, заданных в параметрическом виде, при помощи спайн-кривых // Украинский математический журнал. – 1983. – № 3(35).

Литература

1. Ансмейер М. Создавая невообразимые формы TED. Ideas worth spreading. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ted.com/talks/michael_hansmeyer_building_unimaginable_shapes/up-next?language=ru.

2. Барчугова Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности // Architecture and Modern Information Technologies. – 2013. – 4(25) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2013/4kvart13/barchugova/abstract.php.

3. Беляева З.В. Геометрическое моделирование пространственных конструкций: дис …канд. техн. наук: 05.13.18 / Беляева Зоя Владимировна. – Екатеринбург, 2015. – 175 с.

4. Варчук С.Б. О приближении кривых, заданных в параметрическом виде, при помощи спайн-кривых // Украинский математический журнал. – 1983. – № 3(35). – С. 352-355.

5. Еремеева А.А., Поморов С.Б., Пойдина Т.В. Параметризм в архитектуре. Поиски и решения // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – 2014. – № 1-2. – С. 118-122 с.

6. Захаркин И. Диаграмма Вороного и ее применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habrahabr.ru/post/309252/

7. L-systems – математическая красота растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://geektimes.ru/post/69989/.

8. Надыршин Н.М. Параметризм как стиль в архитектурном дизайне // Вестник ОГУ. – 2013. – № 1(150). – С. 53-57.

9. Сапрыкина Н.А. Тезаурус параметрической парадигмы формирования архитектурного пространства // Architecture and Modern Information Technologies. – 2017. – №3(40). – С. 281-303 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/21_saprykina/index.php

10. Стессель С.А. Проблемы применения параметризма в архитектурном проектировании // Архитектура и строительство. – 2015. – № 9, – С. 148-157.

11. Стессель С.А. Предпосылки развития идей нелинейности в современной архитектуре // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – Т.16. – 2016. – № 3. – С. 5-11.

12. Jencks Ch. Propositions of Post Modern Architecture // Theories and Manifestoes of Contemporary Architecture. – Chichester, 1997.

13. Matt Ridley. Genome. The autobiography of a species in 23 chapters. Harper Perennial. 2006. – 368 p.

14. Shumacher P. The Autopoiesis of Architecture. – Vol.1. – West Sussex, 2011.

15. Shumacher P. New Global Style for Architecture and Urban Design // AD Architectural Design – Design Cities. – V. 79. – № 4 July/August, 2009.

16. 10 Parametric Plugins Every Architect Shoud Know [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.arch2o.com/10-parametric-plugins-every-architect-should-know/.

References

1. Ansmeyer M. *Sozdavaya nevoobrazimye formy TED* [Creating unimaginable forms. Ideas worth spreading]. Available at: https://www.ted.com/talks/michael_hansmeyer_building_unimaginable_shapes/up-next?language=ru.

2. Barchugova E.V. Parametrism as a direction of the modern project activities. Architecture and Modern Information Technologies, 2013, 4(25). Available at: http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2013/4kvart13/barchugova/abstract.php

3. Belyaeva Z.V. *Geometricheskoe modelirovanie prostranstvennyh konstrukciy* [Geometric modeling of spatial structures. (Dis. PhD)]. Ekaterinburg, 2015.

4. Varchuk S.B. *O priblizhenii krivyh, zadannyh v parametricheskom vide, pri pomoschi splain-krivyh* [On the approximation of curves given in a parametric form using spine curves]. Ukrainian mathematics magazine, 1983, no. 3(35), pp. 352-355.

5. Eremeeva A.A., Pomorov S.B., Pojdina T.V. *Parametrizm v arhitekture. Poiski i resheniya* [Parametrism in architecture. Searches and solutions]. Barnaul, 2014, pp. 118-122.

6. Zakharkin I. *Diagramma Voronogo i ee primeneniya* [The Voronoi diagram and its applications]. Available at: https://habrahabr.ru/post/309252/

7. *L-systems – matematicheskaya krasota rastenij* [L-systems – mathematical beauty of plants]. Available at: https://geektimes.ru/post/69989/.

8. Nadyrshin N.M. *Parametrizm kak stil' v arhitekturnom dizajne* [Parametrism as a style in architectural design]. Orenburg, 2013, 1 (150), pp. 53-57.

9. Saprykina N. Thesaurus of Parametric Paradigm for Architectural Space Forming. Architecture and Modern Information Technologies, 2017, no. 3(40), pp. 281-303. Available at: http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/3kvart17/PDF/21_saprykina.pdf

10. Stessel' S.A. *Problemy primeneniya parametrizma v arhitekturnom proektirovanii* [Problems in the application of parametrism in architectural design. Magazine Architecture and Construction]. 2015, no. 9, pp. 148-157.

11. Stessel' S.A. *Predposylki razvitiya idej nelinejnosti v sovremennoj arhitekture* [Prerequisites for the development of ideas of nonlinearity in modern architecture. Bulletin of SUSU. Series «Construction Engineering and Architecture»]. Vol. 16, 2016, no. 3, pp. 5-11.

12. Jencks Ch. Propositions of Post Modern Architecture. Theories and Manifestoes of Contemporary Architecture. Chichester, 1997.

13. Matt Ridley. Genome.The autobiography of a species in 23 chapters. Harper Perennial. 2006, 368 p.

14. Shumacher P. The Autopoiesis of Architecture. Vol. 1, West Sussex, 2011.

15. Shumacher P. New Global Style for Architecture and Urban Design. AD Architectural Design – Design Cities, Vol. 79, 2009, no. 4 July/August.

16. 10 Parametric Plugins Every Architect Shoud Know. Available at: http://www.arch2o.com/10-parametric-plugins-every-architect-should-know/

ОБ АВТОРЕ

Гоголкина Ольга Вячеславовна
ООО «Модуль-Арт», Истра, Московская область, Россия;
Прикреплённая для подготовки диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, кафедра «Архитектура сельских населенных мест», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия
e-mail: nacticall@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR

Gogolkina Olga
«Module-Art» Ltd, Istra, Moscow District, Russia;
Postgraduate Student, Chair «Architecture of Rural Places», Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia
e-mail: nacticall@mail.ru