

УДК 72.012:004.9

О. А. Салман

## **Цифровые технологии проектирования и современное архитектурное формообразование**

*Раскрываются пути влияния рабочей среды компьютерных программ трехмерного моделирования и автоматизированного проектирования, алгоритмизированных приложений параметрического и генеративного дизайна на творческое мышление современных архитекторов и цифровое формообразование конца XX – начала XXI в. Выявляются положительные стороны компьютеризации: возможность создавать криволинейные и ломаные объемы, обеспечивать интерактивную взаимосвязь формы здания и его конструктивных узлов, инженерных сетей. Рассматриваются проблемные аспекты перехода к цифровому проектированию: затрудненное восприятие масштаба и пропорций, снижение спонтанности и выразительности криволинейных форм, частичная утрата контроля над творческим процессом формообразования.*

Компьютеризация архитектурного проектирования повлияла не только на облик современных зданий, дав начало таким новаторским стилевым направлениям, как биотек, нелинейная и дигитальная архитектура, но изменила методологическую основу архитектурного формообразования. Возможности, которые открывают перед архитекторами цифровые технологии, рассмотрены как пионерами экспериментального компьютерного проектирования (в первую очередь, Г. Линном [8], Л. Спайброком [14], П. Шумахером [12] и М. Карпо [5]), так и рядом профессиональных исследователей цифрового формообразования [6; 10; 11; 13] и др. Особняком стоят работы, посвященные параметрическому направлению новейшей архитектуры, принципы которого наиболее выразительно отличаются от традиционного формообразования. Проблематика параметрического дизайна привлекает внимание таких исследователей, как Е. Барчугова, О. Гоголкина, А. Еремеева и др. [1; 2; 4]. Среди работ, посвященных зарождению нелинейной архитектуры в рамках деконструктивистского направления архитектуры постмодернизма, особое место занимает фундаментальный труд И. Добрициной [3].

Тем не менее в многочисленных публикациях остается практически не раскрытым вопрос влияния интерфейса программ компьютерного моделирования и проектирования на творческий метод архитектора. Стихийный переход к цифровому формообразованию несет в себе не только творческую свободу, но и новые ограничения фантазии архитектора. Выявление этих ограничений является актуальной проблемой для развития архитектуры, так как подчинение творческих процессов технологии может препятствовать развитию художественной мысли.

*Целью статьи* является определение основных направлений воздействия рабочей среды компьютерных программ на современное формообразование.

Эксперименты в архитектурном формообразовании рубежа XX–XXI вв. обусловлены технологическими инновациями информационной эпохи, в первую очередь, возникновением и развитием специализированных компьютерных программ: систем автоматизированного проектирования (САПР или CAD (Computer-aided design) и трехмерного моделирования (3d modeling). Уже в первых программах, разработанных в начале 1960-х гг. (Sketchpad, 1961), были реализованы процедуры создания и записи графических данных, которые характеризуют современные системы автоматизированного проектирования. Чертежи выполняются в формате векторной графики – методе представления объектов и изображений, основанном на математическом описании элементарных геометрических объектов: точки, прямой, окружности, многоугольников<sup>1</sup>, кривых и поверхностей, заданных алгоритмами B-сплайнов<sup>2</sup>. Каждый элемент векторного рисунка, выводимый на монитор, является графическим отображением сохраненного в памяти компьютера математического объекта с заданными направлением, координатами и атрибутами (цвет, толщина, начертание линии и т. д.). Выбор такого формата представления данных имеет ряд важных последствий для механики создания рисунка, технологии процесса черчения. Векторная графика позволяет без потери качества менять масштаб и линейные размеры изображения или его частей, вращать элементы рисунка, создавать точные копии фрагментов и менять их атрибуты (например угол наклона или цвет). При этом изменение исходного элемента влечет за собой изменение копий. Программы векторной графики позволяют вычерчивать в масштабе 1:1 проект любых размеров и любой степени детализации, бесконечно приближать или удалять чертеж от зрителя. Подобная степень детализации чертежей и интеграции отдельных элементов проекта была недостижима до появления векторной графики.

Программы трехмерного моделирования (3ds Max, Maya и др.) позволяют не только визуализировать, но и с нуля создавать сложные формы, которые невозможно изобразить средствами перспективных и аксонометрических рисунков, проекций и разрезов [6, р. 5]. До последней

---

<sup>1</sup> В этом отличие векторной графики от растровой, которая представляет собой таблицу (матрицу), каждой ячейке которой присвоены данные о заполнении цветом. Растровый рисунок подобен венецианской мозаике или вышивке крестиком, при приближении рисунок распадается на отдельные фрагменты. В отличие от векторного рисунка, растровое изображение невозможно увеличить или уменьшить без потери качества.

<sup>2</sup> Сплайны, к которым относятся кривые Безье, базисные и бикубические сплайны, представляют собой кривую, склеенную из фрагментов, каждый из которых является графиком линейной или криволинейной функции.

трети XX в. не существовало и необходимых математических формул, которые позволяли провести инженерные расчеты криволинейных конструкций. Внедрение программ, поддерживавших расчет B-сплайнов, в строительную промышленность позволило моделировать и возводить оболочки неправильной формы с несколькими векторами кривизны, которые создавались из отдельных криволинейных сегментов, каждый из которых имел собственные криволинейные очертания.

Технологии моделирования сплайнов позволили проектировать, рассчитывать и собирать сетчатые и мембранные оболочки из криволинейных фрагментов с различными углами искривления, причем каждый фрагмент имел уникальную, не повторяющуюся форму. Усложнились и очертания самих криволинейных поверхностей. Выразительный пример этих изменений являет архитектура направления биотек: проекты Н. Фостера (30 St Mary Axe, Лондон, 2003; London City Hall, Лондон, 2001), бюро Future Systems (здание торгового центра Selfridges, Бирмингем, Великобритания, 2003), П. Кука (здание художественного музея в г. Грац, Австрия, 2003) и др.

Внедрение принципов математической топологии в архитектурное формообразование позволило разработать язык ассоциативной геометрии, на которой базируется подавляющее большинство программ *параметрического и генеративного дизайна* («parametric and generative design»). Помимо создания новых путей архитектурного формообразования, ассоциативные модели обеспечивают более строгий и полный контроль над трехмерными моделями. Изменение одного параметра модели автоматически меняет все связанные с ним параметры и элементы, так как их отношения, прописанные топологическими методами, то есть с помощью специальных систем формул, остаются неизменными. Г. Линн отмечает, что переплетение элементов и принцип обратной связи в ассоциативной модели приближает ее к живым организмам, а не механическим системам [8, р. 10]. Таким образом исключается возникновение неточностей и ошибок из-за невнимательности оператора и придается устойчивость системе.

В программах параметрического моделирования место непосредственной «лепки» объема мышью и клавишами компьютера, как это происходит в стандартных программах трехмерного моделирования, архитектор сначала устанавливает отношения различных элементов проекта и определяет их логические взаимосвязи, а после создает модель, изменяя отдельные аспекты (параметры) этих взаимосвязей, и выбирает оптимальный вариант из серии возможных решений проблемы, предложенных компьютером. Следовательно, в отличие от традиционного формообразования, первым этапом которого является анализ ус-

ловий местности и эскиз, выполненный в виде рисунка на бумаге, в пластине или цифровой трехмерной модели, в параметрическом дизайне разработка системы алгоритмов и параметров предшествует формированию образа [14, р. 38]. Поэтому на начальной стадии проектирования архитектор, как правило, не представляет форму, в которой воплотится система алгоритмов.

К наиболее узнаваемым примерам параметрической архитектуры в стиле постмодерн рубежа 1990–2000-х гг. относятся инсталляция D-Tower (Дутинхем, Нидерланды, 2001–2003, арх. Л. Спайброк), культурный Центр Гейдара Алиева (2012, Баку, Азербайджан, арх. Заха Хадид). В архитектуре Беларуси это направление представляет здание футбольного стадиона БАТЭ «Борисов-арена» (Борисов, 2014, арх. Ofis Arhitekti).

Алгоритмы, определяющие формообразование генеративного дизайна, функционируют как система правил, сходных по своей логике с грамматикой языка. Система генеративного дизайна базируется на ключевом формообразующем принципе, который позволяет создавать вариации первоначальной формы и визуализировать ее в виртуальной либо материальной форме. Общим элементом методологий генеративного дизайна является понятие «правила», под которым может подразумеваться набор простых операций, производимых над геометрическими фигурами, согласно которым форма-первоисточник может трансформироваться: вращаться, изгибаться, масштабироваться (т. н. грамматика формы), или механизмов, регулирующих развитие формы по принципам биологических систем (т. н. эволюционные алгоритмы).

А. Риккобоно рассматривает возникновение генеративного дизайна как смену парадигмы в методологии проектирования [11, р. 78]. Здание больше не воспринимается как статичный объект, над которым производят некие манипуляции, но как система взаимосвязанных компонентов, которые, в свою очередь, сами производят новые объекты с оригинальными свойствами. Проектировщик определяет систему правил и ограничений, этапы преобразований и выбирает одно из разнообразия решений, предложенных компьютерной программой. В отличие от параметрического дизайна, генеративный дизайн учитывает не форму объекта (например внешний объем здания), а геометрические характеристики и структурные отношения отдельных элементов, из которых складывается форма [2, с. 359].

Общей чертой методов генеративного и параметрического дизайна является необходимость для архитектора полностью либо частично полагаться на компьютер в вопросах математического расчета геометрии поверхностей. Скрытые механизмы работы алгоритмов выходят за рамки понимания большинства архитекторов, которые вынуждены полностью доверять компьютерной программе. Частичный авторский кон-

троль над формообразованием сохраняется лишь в исключительных случаях у тех, кто знаком с ограничениями и возможностями программного кода, либо нанимает в штат программистов.

На рубеже 2000–2010-х гг. интерес к параметрическому формообразованию пошел на резкий спад по причине высокой стоимости строительства данного типа объектов. Основным программным средством, оказывающим непосредственное влияние на форму современных зданий, остается трехмерное моделирование, то есть «лепка объема», заданного вершинами, ребрами и гранями, с помощью мыши, графического планшета и клавиатуры в таких компьютерных программах, как 3ds Max, Revit, SketchUp и т. д. В отличие от криволинейного формообразования, трехмерное моделирование менее выразительно контрастирует с аналоговой графикой.

Взаимосвязь процессов компьютерного моделирования и формообразования выявляет анализ механики построения трехмерных моделей. Основой трехмерной модели является полигональная сетка – совокупность вершин, ребер и граней, которые задают объем многогранного объекта. Грани, как правило, представляют собой простые выпуклые полигоны, то есть многоугольники, диагонали которых находятся внутри очертаний. Сложный объем, который в криволинейном или алгоритмическом моделировании задается сплайном или системой сплайнов, в традиционном моделировании будет являть собой граненый объект, собранный из множества плоскостей.

Именно процесс сборки полой полигональной модели из простых многоугольников и операции, применяемые для ее трансформации, оказывают непосредственное влияние на архитектурное формообразование. Объемно-пространственное решение здания определяется на начальном этапе эскизного моделирования и уточняется в процессе конкретизации модели. Вначале создается простое геометрическое тело заданных размеров (призма, шар, пирамида). Далее над ним производят различные манипуляции, изменяющие его форму: делают врезки, наклонные плоскости, выдвигают выступающие элементы. Простые или же трансформированные объемы могут формировать более сложную композицию, объединяясь с другими объемами, также преобразованными.

Если аналоговый проектировщик, использующий линейки, тяготеет к вертикальным и горизонтальным линиям, а также параллельным диагоналям, архитектор, лепящий форму непосредственно в трехмерном редакторе, может задавать каждому отдельному ребру собственный угол наклона в одном или двух направлениях. Наклонные стены или колонны затруднительно изобразить на эскизах, выполненных вручную, так как необходимо либо вычерчивать две проекции, либо выстраивать сложную перспективу.

Так как программы трехмерного моделирования являются редакторами векторной графики, они позволяют бесконечно приближать и с высочайшей точностью вычерчивать мельчайшие конструктивные и декоративные элементы. Но на мониторе, в отличие от листа бумаги, затруднено восприятие масштаба и пропорциональных отношений элементов. В результате сочетания этих факторов здания покрывают чрезмерно мелкими и детализированными декоративными элементами, которые нарушают пропорции, создают визуальный шум или не могут быть замечены зрителем, смотрящим на объект снизу вверх. На утрату чувства масштаба и неотъемлемой тактильности в процессе перехода от ручной к цифровой графике указывает финский архитектор и теоретик архитектуры Ю. Палласма. Если линия, проведенная от руки, связывает разум с прикосновением, масштабом тела и воображением, то «компьютеризированное изображение лишено масштаба, места и подлинной чувственности» (пер. наш. – О. С.) [9, р. 44].

На необходимость сохранения ручной графики на стадии первоначального эскизирования и моделирования указывает Г. Гольдшмидт [7, р. 78]. На основании серии экспериментов, проведенных совместно с исследователями-психологами, Г. Гольдшмидт констатирует, что в процессе кристаллизации и конкретизации идеи предмета на бумаге образуется более устойчивая, живая, интерактивная связь изображения с тем ментальным образом, который существует в голове автора. «Ручная графика» на стадии эскиза оставляет автору больше свободы фантазии, упрощает ее перенос в осязаемые образы, позволяет эффективнее уточнять и изменять детали. Сам процесс переноса рисунка на бумагу изменяет и конкретизирует тот ментальный образ, что существует в воображении архитектора. Образы возникают на листе непосредственно из движений руки, не будучи опосредованы компьютерным экраном и мышью. Спонтанные, случайные линии привносят в рисунок новые неожиданные смыслы, тем самым изменяя образ, сложившийся в воображении. Скетчинг на бумаге более точный: «...в основании этой точности лежит физиологическая неразрывная взаимосвязь разума, зрения и моторики рук» [Там же, р. 84]. В ручной графике также отсутствует задержка между нажатием пера и появлением изображения.

Ручная графика обеспечивает легкость и спонтанность кривых, недостижимую в процессе рисования напрямую в векторном редакторе. Компьютерный сплайн тяготеет к сглаженности, в нем затруднено отображение резких искривлений, так как он стремится принять оптимальные, заданные программой очертания. Сам механизм рисования кривой на компьютере принципиально отличается от ручного: сначала архитектор ставит одну или несколько опорных точек, потом компьютер на их основе генерирует кривую. Наконец, передвигая, добавляя или убирая опорные точки и перемещая направляющие прямые, архитектор ее кор-

ректирует. Получить задуманные очертания затруднительно, даже если выстраивать их поверх отсканированного ручного эскиза – инструменты управления чрезмерно сглаживают, скругляют или выпрямляют изгибы. Поэтому кривая, выстроенная сразу в векторном редакторе, будет отличаться большей плавностью, но меньшей выразительностью.

Анализ применения средств компьютерного моделирования в современном архитектурном формообразовании позволяет заключить, что как параметрический и генеративный дизайн, базирующийся на применении алгоритмов и автоматизации творческих процессов, так и шаблоны трехмерного моделирования в ряде случаев ограничивают творческий поиск архитектора, заставляя его использовать стереотипные композиционные решения, обусловленные спецификой работы в компьютерных программах. Архитектор, работающий в программах параметрического и генеративного дизайна и эскизирующий непосредственно в программе трехмерного моделирования, отчужден от результата своего творчества монитором и устройствами ввода (графическим планшетом, мышью, клавиатурой). Большинство архитекторов воспринимает дигитализацию формообразования как неизбежный и необратимый процесс, а потому пассивно принимает ограничения, накладываемые интерфейсом программы на образное мышление.

1. Барчугова, Е. Параметризм как направление современной проектной деятельности / Е. Барчугова // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2013. – № 4 (25). – С. 211–215.

2. Гоголкина, О. Особенности формирования конструкций в параметрической архитектуре / О. Гоголкина // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2018. – № 1 (42). – С. 355–363.

3. Добрицина, И. От постмодернизма к нелинейной архитектуре: архитектура в контексте современной философии и науки / И. А. Добрицина. – М.: Прогресс-Традиция, 2004. – 445 с.

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

5. Carpo, M. *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence* / M. Carpo. – London: MIT Press, 2017. – 224 p.

6. Colajanni, B. Which new semantic for new shape? / B. Colajanni, G. Pelliteri, S. Concialdi // *Digital. Architecture and Construction* / ed. A. Ali. – Southampton, 2006. – P. 1–10.

7. Goldschmidt, G. *Manual Sketching: Why is it Still Relevant?* / G. Goldschmidt // *The Active Image: Architecture and Engineering in the Age of Modeling* / ed.: S. Ammon, R. Capdevila-Werning. – Cham, 2017. – P. 77–99.

8. Lynn, G. *Folding in Architecture* / G. Lynn. – Leicester: Wiley-Academy, 2003. – 248 p.

9. Pallasmaa, J. *An Archipelago of Authenticity: The Task of Architecture in Consumer Culture* / J. Pallasmaa // *Architecture, Ethics, and the Personhood of Place* / ed. G. Caicco. – Chicago, 2007. – P. 41–49.

10. Picon, A. *Digital Culture in Architecture: An Introduction for the Design Professions* / A. Picon. – Basel: Birkhäuser, 2010. – 104 p.

11. Riccobono, A. Architectural design in the digital era : dottorato dis. ... Composizione architettonica e urbana : AREA 08 - SSD ICAR14 / A. Riccobono. – Palermo, 2013. – 401 p.

12. Schumacher, P. Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design / P. Schumacher // AD Architectural Design-Digital Cities. – Frankfurt am Main, 2009. – № 79 (4). – P. 14–23.

13. Spiller, N. Digital architecture now / N. Spiller. – London : Thames & Hudson, 2008. – 318 p.

14. Spuybroek, L. Research & Design : The Architecture of Variation / L. Spuybroek. – New York : Thames & Hudson, 2009. – 194 p.

O. Salman

**Digital design technologies  
and modern architectural morphogenesis**

*The ways of influence of the interface of 3d-modelling, CAD programs and algorithm-based programs for parametric and generative design on creative thinking of contemporary architects and on the digital morphogenesis in the architecture of the late XXth – early XXIst century are revealed. The positive aspects of computerization (the ability to create curvilinear and polyline shapes, to provide interactive interconnection between the shape of the building, its structural units and engineering networks) are identified. The problematic aspects of transition to digital design (obstructed perception of scale and proportions, reduced spontaneity and expressiveness of curvilinear shapes, partial loss of control over the creative process of morphogenesis) are considered.*

Дата паступлення артыкула ў рэдакцыю: 17.08.2020.