

Социокультурные аспекты цифровой архитектуры

УДК 72.01:004.9



Осама Али САЛМАН,
аспирант

Осама Али САЛМАН. Социокультурные аспекты цифровой архитектуры. В статье рассмотрены социокультурные и философские основы формирования и развития экспериментальных направлений цифровой архитектуры 1990–2010-х годов. Раскрывается влияние на новейшую цифровую архитектуру концепций философа Ж. Делёза, математических открытий в области фрактальной геометрии и алгебраической топологии, а также социокультурных тенденций, направленных на кастомизацию, коллаборацию и партисипативность, которые возникли в современном обществе в результате развития интернета. Выявляются обусловленные этими процессами актуальные достижения новейшей архитектуры (криволинейное формообразование, интерактивная архитектура) и потенциальные риски (утрата художественной автономии проектировщика и его отчуждение от результата труда).

Ключевые слова: новейшая архитектура, цифровая архитектура, Делёз, фрактал, коллаборация, кастомизация, партисипативность.

Osama Ali SALMAN. Socio-cultural aspects of digital architecture. The article explores the socio-cultural and philosophical background of the experimental trends in digital architecture in the 1990–2010s. The author analyzes the influence of Gilles Deleuze's philosophy, mathematical discoveries in fractal geometry and algebraic topology, and the socio-cultural trends of customization, collaboration and participativity that emerged in the modern society on the heels of the internet boom on the contemporary architectural discourse. The article describes the achievements (curvilinear morphogenesis, interactive architecture) and potential risks (the loss of artistic autonomy, alienation of the digital project from the creator) that arise in contemporary architecture as a result of these processes.

Keywords: contemporary architecture, digital architecture, Deleuze, fractal, collaboration, customization, participativity.

Внедрение цифровых технологий автоматизированного проектирования и трехмерного моделирования в архитектуру последней трети XX века привело к возникновению целого ряда экспериментальных направлений: дигитального (цифрового) и криволинейного (нелинейного) формообразования, параметризма, глобализма, биотека и др. Здания, возведенные в рамках этих направлений,

характеризуются сложными искривленными или ломаными формами, которые невозможно изобразить и рассчитать, не прибегая к помощи компьютера.

Такие знаменитые проекты рубежа XX–XXI веков, как 30 St Mary Axe («Корнишон») Н. Фостера (Лондон, 2003), здание торгового центра Selfridges бюро Future Systems (Бирмингем, Великобритания, 2003), культурный центр Гейдара Алиева архитектурного бюро Захи Хадид (2012, Баку, Азербайджан) и другие, поражают воображение затейливыми очертаниями, напоминающими обтекаемые природные формы и скульптурную пластику. В архитектуре Беларуси наиболее яркий пример таких сложных объемов являются спортивные сооружения: надстройка над стадионом «Динамо» (2018, Минск, арх. УП «Минскпроект»), здание футбольного стадиона БАТЭ «Борисов-Арена» (Борисов, 2014, арх. Ofis Arhitekti).

Но в последнее десятилетие данный тип знаковых, уникальных построек все

ОБ АВТОРЕ

САЛМАН Осама Али.

Родился в 1988 году в г. Тартус Сирийской Арабской Республики.

В 2006–2013 годах обучался в Тишинском университете на инженерно-архитектурном факультете. В 2017 году завершил обучение в магистратуре Института подготовки научных кадров НАН Беларуси, где успешно защитил магистерскую диссертацию «Информационные технологии и современное архитектурное формообразование».

С 2017 года – аспирант ГНУ «Центр исследований белорусской культуры, языка и литературы НАН Беларуси».

Магистр искусствоведения (2018).

Автор пяти научных работ (одна – в соавторстве).

Сфера научных интересов: новейшая архитектура, современная архитектура, информационные технологии, параметризм, компьютерное проектирование.



чаще подвергается критике за чрезмерную стоимость строительства и трансляцию образа кричащего богатства в период замедления экономического роста. Криволинейная архитектура зачастую рассматривается как символ излишней роскоши и бездумных экспериментов в формообразовании, не обоснованных концепциями, отражающими потребности современного общества. Тем не менее в научных и публицистических работах начинатели цифрового направления в архитектуре (Г. Линн, Л. Спайбрук, М. Карпо и др.) обосновывали новое формообразование открытиями в таких областях знания, как философия и математика, а также необходимостью отразить в архитектурных формах новые социокультурные тенденции информационного общества.

В данной работе выявляются основные группы идей, определяющих концептуальные направления экспериментального компьютерного формообразования, а также положительные и негативные последствия внедрения этих концепций в мировую и белорусскую архитектуру.

Криволинейное формообразование, философия Ж. Делёза и открытия фрактальной геометрии. Пионер экспериментальной криволинейной архитектуры М. Карпо связывает возникновение в 1990-е годы «цифровой криволинейности» (digital curvilinearity)

как теоретического и методологического подхода к формообразованию с популярностью работ выдающегося французского философа Ж. Делёза [1, р. 57], в первую очередь опубликованного в 1998 году его труда «Складка. Лейбниц и барокко» [2]. Это подобно тому, как идеи архитектурного деконструктивизма были вдохновлены трудами философов Ж. Деррида и Ж. Бодрийяра.

Жиль Делёз обнаруживает сходные принципы в построении искривленных, скругленных и вихреобразных форм стиля барокко и математических открытиях Г. Лейбница: «Вселенная изгибается подобно трем фундаментальным понятиям: текучести материи, эластичности тел и принципу пружины» [2, с. 10]. В основе обеих систем – пластической и математической – Делёз видит предвосхищение принципов фрактальной геометрии, популяризированной в вышедшей в 1977 году книге «Фрактальная геометрия природы» Б. Мандельброта [3]. Согласно наблюдениям Делёза, пластика стиля барокко обнаруживает принцип фрактального самоподобия, то есть точного или общего совпадения геометрических характеристик целого и его частей: «Непрерывно делясь, части материи образуют малые вихри внутри большого, в малых – еще более малые, а также вихри в промежутках между соприкасающимися вихрями... в каждом теле, каким бы

◀ Стадион «Динамо»

▲ «Борисов-Арена»

малым оно ни было, содержится некий мир, являющийся таковым постольку, поскольку он продырявлен нерегулярными переходами» [2, с. 10–11]. В этой системе координат криволинейная, фрактальная пластика признается ценностью постольку, поскольку позволяет уподобить архитектурные формы природным, которые характеризуются криволинейной и фрактальной структурой – более естественно воспринимаемой человеком, чем прямые линии и плоскости.

Британский теоретик архитектуры Р. Ботацци также указывает на связь фрактальной геометрии, стиля барокко и цифрового криволинейного проектирования: «В архитектуре барокко мы впервые наблюдаем, как параметрические принципы вдохновляют не известное ранее переживание полноты и цельности, зачастую основанное на сложных отношениях различных простых форм, измененных в результате геометрических преобразований» [4, р. 91].

Р. Ботацци полагает, что в формообразовании барокко главным принципом было установление соподчиненной взаимосвязи конструктивных и пластических элементов согласно принципам параметрической архитектуры: «Атрибуция и вариация параметров, присвоенных базовым геометрическим объемам, устанавливала связи между разнообразными формами таким образом, что изменение одной из форм влекло за собой последовательное изменение и всех прочих связанных с ней геометрий» [4, р. 91]. Первоисточником параметрических преобразований барокко Р. Ботацци видит ордерную систему в интерпретации Ренессанса. Тем не менее и сама ордерная система, где пропорции колонн и отдельных элементов декора задаются размером модуля и типом ордера, может считаться примером параметрических отношений.

Российская исследовательница нелинейной архитектуры И. Добрицына указывает на метафоричность понимания архитекторами идей Ж. Делёза [5, с. 181]. Исследовательница отмечает, что складка оказывается поэтическим следом разрыва мировых энергий, возникающим в

процессе превращения энергии становления, манифестирующей в результате некоего события в материю [5, с. 180].

Из тезиса об алгоритмическом характере барочной архитектуры на рубеже 2000–2010-х годов развивается направление «цифровое барокко» (digital baroque), предполагающее применение образности стиля барокко в компьютерном фрактальном формообразовании. Одним из наиболее ярких представителей направления считается немецкий архитектор М. Ансмейер. К наиболее выразительным экспериментам М. Ансмейера в области фрактального барочного формообразования можно отнести серию трехмерных моделей «Платоновы тела» (Platonic Solids, 2008), демонстрирующих перспективы применения геометрических процессов для создания сложных комплексных объемов. Формообразование в проекте базируется не столько на выразительных возможностях комбинирования различных примитивов, сколько на раскрытии потенциала, который выявляется в каждом отдельно взятом правильном многограннике в результате алгоритмических преобразований. Для демонстрации этого процесса М. Ансмейер выбрал наиболее примитивные из возможных объемов – «Платоновы тела» – и последовательно применял к ним одну и ту же операцию – разделение граней формы на более мелкие грани – до тех пор, пока не возникали новые формы. Все разнообразие топографии и топологии форм, полученное в проекте, было создано единственным процессом, различавшимся лишь переменными, на которые производилось деление. Единственная переменная влияла на такие атрибуты, как степень разветвления, пористость и фрактализация [6]. Результаты преобразований проявляются и в микро-, и в макромасштабе: они задают не только общую форму объема, но и развитие его поверхности, возникновение микроскопических текстур.

В проектах Digital Grottesque I (2013) и Digital Grottesque II (2017) (название «Цифровой гротеск» представляет собой игру слов с выражением «Цифро-



вой грот») М. Ансмейер совместно с Б. Дилленбургером задался целью создать архитектуру, которая «не поддается классификации и редукционизму, исследует не изведенные ранее уровни разрешения (в данном случае речь идет как о степени детализации трехмерной модели, так и о точности трехмерного принтера, на котором она напечатана) и топологической сложности в архитектуре за счет развития композиционных стратегий, основанных исключительно на геометрических процессах» [7]. Формы, возникающие в результате применения подобных процессов, воспринимаются как одновременно синтетические (искусственные) и органические (природные) [7]. Алгоритм полностью детерминирован, так как в его логике нет места случайностям, но результат остается непредсказуемым и не в полной мере



прогнозируемым, потому что работа алгоритмов не подразумевает вмешательства архитектора. Поэтому «алгоритмические процессы способны генерировать неожиданные топографии и топологии, выходящие далеко за пределы традиционных представлений о форме, создавая объемы на грани порядка и хаоса, одновременно природные и искусственные, не чуждые и не знакомые» [7]. Возникает новый тип отношений архитектора с компьютером, который из пассивного инструмента превращается в партнера, способного подстегнуть фантазию творца. Архитектор больше не придумывает форму, вода карандашом по бумаге или мышкой в CAD-программах, но определяет процедуры, генерирующие форму. Алгоритмизация позволяет синхронно создавать тысячи вариантов одной и той же первоначальной формы, каждый из которых будет эволюционировать параллельно с остальными.

Сложность и богатство форм Digital Grotesque практически не поддаются изображению ни методами ручной графики, ни трехмерным моделированием и не могут быть воплощены в традиционной скульптуре или архитектурной пластике.

М. Ансмейер отмечает, что «соединение алгоритмического дизайна и аддитивного производства может привести к появлению нестандартизированной, в высокой степени дифференцированной и пространственно-сложной архитектуры,

◀ **Виртуальная инсталляция «Платоновы тела»**
Источник: <http://www.michael-hansmeyer.com>.

▲ **Инсталляция «Digital Grotesque I»**
Источник: <http://www.michael-hansmeyer.com>.

форма которой определена с точностью до долей миллиметра» [7]. Так как модель была создана не субтрактивным методом, где из готового блока вырезаются лишние элементы, обнажая форму, а напечатана аддитивным методом из крупиц песка, производство его сложной, полной мельчайших деталей композиции оказывается быстрее и дешевле печати плотного кубического блока такого же размера и разрешения, потому что в случае пористой модели грота не требуется тратить ресурсы (электроэнергию, материалы, время, запас прочности принтера) на заполнение пустот. Но даже наблюдатель, знакомый с технологиями компьютерного моделирования, проектирования и 3D-печати инстинктивно воспринимает сложные замысловатые формы грота как более дорогостоящие и требующие больших трудозатрат, чем простые формы. Но М. Карпо утверждает, что верен контринтуитивный вывод: так как все 30 миллиардов песчинок, составляющих 260 миллионов поверхностей, печатаются индивидуально, стоимость печати такого же количества частиц, выложенных ровными рядами, будет идентичной [1, р. 78]. Тем не менее важно отметить некоторую спорность сравнения объектов, созданных методом дорогостоящей 3D-печати. Куб, собранный из традиционных материалов (кирпича, бетона и т. д.), окажется несоизмеримо дешевле и напечатанного куба аналогичных размеров, и фрактального грота. В условиях реального строительства альтернативой произведенным на 3D-принтере формам выступают именно конструкции, собранные более консервативными способами.

Нелинейное формообразование и алгебраическая топология. Раскрывая технологические аспекты цифрового поворота в архитектуре, английские исследователи Дж. и М. Барри в труде «Новая математика архитектуры» [8] также связывают отход от «традиционной» геометрии простых форм в архитектурном формообразовании не только с развитием технических средств проектирования и производства сложных поверхностей, но и с ростом интереса

к неевклидовой геометрии, описанной в рамках алгебраической топологии – раздела математики, активно развивавшегося во второй половине XX века. Топология рассматривает не метрические свойства объектов (например, расстояние между парой точек), а отношение между объектами и принципы описания их структуры. В рамках топологии изучают свойства пространств, которые остаются неизменными после пластических деформаций, не нарушающих цельность объекта. Именно к топологическим преобразованиям относятся растяжение и изгиб, но не разрыв и склеивание. То есть концепция складки, сформулированная Ж. Делёзом, является частным случаем топологического преобразования. Топологические структуры обнаруживаются в разнообразных сложных объектах, которые не поддаются наглядному изображению в графической форме, и при этом их конфигурация может быть описана системой формул [9, р. 39], а значит – задана в компьютерной программе.

Топологические отношения, характеризующие архитектурную форму, не только задают ее пространственные и геометрические свойства, но также формируют язык ассоциативной геометрии, на которой базируется подавляющее большинство программ параметрического и генеративного дизайна, используемых для моделирования криволинейных форм и конструктивных узлов, необходимых для их возведения. Помимо создания новых путей архитектурного формообразования, ассоциативные модели обеспечивают более строгий и полный контроль над трехмерными моделями. Так, при сравнительной простоте создания первичной трехмерной модели, лепки отдельных элементов и их соединения в цельную иерархичную систему, благодаря использованию специальных компьютерных операций, внесение изменений в существующую модель сопряжено с рядом трудностей. После преобразования одного элемента по одной из осей может понадобиться кропотливое мануальное изменение прилегающих деталей, требующее многих часов работы и ведущее

к накоплению ошибок. Использование ассоциативных инструментов позволяет автоматизировать этот процесс, контролировать работу различных параметров в их корреляции. Изменение одного параметра автоматически меняет все связанные с ним параметры и элементы, так как их отношения, прописанные топологическими методами, остаются неизменными. Переплетение элементов и принцип обратной связи в ассоциативной модели приближает ее к живым организмам, а не механическим системам.

Принцип кастомизации. Выдающийся теоретик и один из начинателей направления дигитальной архитектуры М. Карпо полагает, что принципиальная новизна дигитального проектирования заключалась не столько в криволинейных формах как таковых, сколько в перспективах неограниченной «кастомизации» (от англ. to customize – подгонять) [1, р. 3] архитектурных элементов, ранее являвшихся типовыми. Использование алгоритмов, позволяющих автоматически изменять очертания трехмерной модели, должно было обусловить переход от массового фабричного производства идентичных конструктивных элементов к созданию уникальных, неповторимых деталей. Так как цифровое производство (в первую очередь, технологии 3D-печати и станки с ЧПУ) не требует использования механических матриц, форм для отливки, слепков и т. д., повторное использование формы не влияет на стоимость продукта. Следовательно, создание большего числа идентичных цифровых копий не удешевляет, но и не удорожает производство. С другой стороны, компьютерные модели позволяют автоматически вносить изменения в оригинал и массово производить вариации, которые при этом не дороже прототипа. М. Карпо полагает, что возникновение идеи всеобщей цифровой кастомизации, сменившей идею массового производства одинаковых предметов, является одним из важнейших открытий в дизайне и архитектуре конца XX века, которое приведет к фундаментальным изменениям культурных и технических основ человеческой цивили-

зации [1, р. 3]. Результатом этого процесса должен был стать переход от создания однообразной типовой архитектуры из стандартных элементов к проектированию зданий, уникальных не только в масштабе образного решения, но и мельчайших конструктивных узлов, если того требует творческая задумка автора или условия среды, в которой предполагается их возводить. Этот процесс должен был завершиться формированием адаптивной, самовоспроизводящейся архитектуры, которая развивалась бы согласно законам биологической эволюции.

Принцип кастомизации проявлен в протопараметрическом проекте Biozentrum архитектора П. Айзенманна (Франкфурт-на-Майне, Германия, 1987). Следующее биологическим принципам разнообразие неповторяющихся форм было достигнуто за счет применения алгоритмов, созданных специально для этого проекта. Алгоритмы же следовали принципам, характеризующим молекулу ДНК: репликации, транскрипции и трансляции. В резиденции Льюиса архитектор Ф. Гери (Линдхерст, Огайо, 1989–1995) впервые применил программы для аэрокосмического моделирования, которые были специально адаптированы (кастомизированы) сотрудниками бюро для нужд архитектурного проектирования. Именно в этом проекте впервые проявился уникальный авторский почерк архитектора – соединение принципов аналогового и цифрового формообразования. В проекте гимназии Galaxy Toyama Сёэй Йо (Shoei Yoh, Имицу, Япония, 1990–1992) сформировал убедительный архитектурный образ, оптимизировав согласно алгоритмам роста деревьев конструктивный каркас здания. Проект «Эмбрионального дома» (Embryological House, 1997–2001) Г. Линна воплощает идею природного, естественного развития архитектурных форм благодаря алгоритмам, создававшим версии дома-прототипа, то есть кастомизировавшим изначальную модель, следуя стратегиям эволюции живых организмов.

Мысль М. Карпо о кастомизации развивает исследователь М. Аллен, отмечая,

что цифровая архитектура как стилевое направление была не просто результатом появления сравнительно недорогих персональных компьютеров, но концептуализацией «взрыва гетерогенной космологии» [10]. Однако там, где М. Карпо подчеркивает ценность идейного содержания цифровой архитектуры 1990-х, М. Аллен делает акцент на возникновении новой образности, построенной на криволинейном формообразовании. М. Карпо также констатирует: идеи массовой кастомизации в большей степени прижились не в архитектуре, но в иных креативных областях – цифровом искусстве, предметном дизайне и дизайне одежды, интернет-культуре в целом, что объясняется сравнительно высокой стоимостью создания кастомизированных архитектурных элементов.

Принцип партисипативности (коллаборации). М. Карпо полагает, что в архитектуре на смену идее кастомизации должна прийти концепция партисипативности, то есть совместной творческой работы различных специалистов над проектом. Так, в начале 2000-х годов интернет перерождается в Web 2.0, или партисипативную сеть, работающую на принципах коллаборации (коллективного творчества), интерактивности, краудсорсинга (низовой групповой поддержки проектов), создания контента самими пользователями и потребителями. Но, как и в случае кастомизации, взрыв социальных медиа проявился во всех сферах человеческого творчества (от научных проектов до киноискусства, музыки и предметного дизайна), практически не повлияв на архитектурное проектирование: «Ожидавшийся переход от массовой кастомизации к массовой коллаборации в архитектуре не состоялся» [1, р. 5]. Распространение совместных проектов в изобразительном искусстве и предметном дизайне при невысокой популярности коллабораций в архитектуре может объясняться тем, что в области архитектуры дигитализация развивалась в векторе «человек-компьютер», а не «человек-человек».

Условием обмена идеями и возникновения коллабораций является эмпатиче-

ская человеческая социальность, обширная сеть горизонтальных связей и творческих союзов, образованию которых способствуют социальные сети Web 2.0, но препятствуют высокая конкуренция и иерархичность архитектурной среды. Если творческий поиск экспериментальных художников и дизайнеров во многом направлен на установление и усиление как живых, так и виртуальных взаимодействий между людьми, для которых компьютер выступает лишь средством единения, то цифровые архитекторы зачастую берут в соавторы не других людей, а алгоритмы, способные помочь в проектировании криволинейных форм или обработке больших объемов данных.

Тем не менее можно отметить возрастание важности коллаборации и в архитектурном формообразовании, и в области разработки технической проектной документации. Системы информационного моделирования подразумевают не только перераспределение ответственности между проектировщиком и компьютерными алгоритмами, но и смещение принципов совместной работы архитекторов и смежных специалистов от иерархических отношений к равной ответственности. Сама трехмерная модель, интерактивно связанная с проектными документами, является продуктом коллективного творчества различных специалистов.

Ряд современных архитекторов (Г. Линн, П. Шумахер, Л. Слайбрук, М. Ансмейер) видят в компьютерном формообразовании потенциал для совместной работы человеческого и компьютерного разума. М. Карпо утверждает: «Если в 1990-е годы компьютеры использовались в основном для того, чтобы воплощать в цифровой форме устаревшие аналоговые стереотипы формообразования, то в настоящее время архитектурное сообщество осознает, что компьютеры работают быстрее и эффективнее, если позволить им следовать нечеловеческой цифровой „постнаучной“ логике» [1, р. 7]. При этом М. Карпо полагает, что для этих целей проектировщикам вовсе не обязательно понимать, «что именно и каким

образом делает компьютер» [1, р. 7], то есть предпочтителен приоритет алгоритмического формообразования, а не сотворчество архитектора и компьютерной программы. Как отмечает С. Марбл, «архитекторы становятся зависимы от полуавтономных, алгоритмических рабочих процессов, встроенных в коллективную цифровую коммуникационную инфраструктуру» [11, р. 28]. Архитектор, как работающий в программах параметрического и генеративного дизайна, так и создающий эскиз непосредственно в программе трехмерного моделирования, оказывается отчужден от результата своего творчества монитором и устройствами ввода (графическим планшетом, мышью, клавиатурой). На опасность подобного отчуждения указывает финский архитектор и исследователь Й. Палласмаа: «Мы мыслим всеми нашими чувствами; и эти мысли-ощущения интегрированы в мудрость тела, без которой невозможно истинное художественное творчество» [12, р. 44]. Если линия, проведенная от руки, связывает разум с прикосновением, масштабом тела и воображением, то «компьютеризированное изображение лишено масштаба, места и подлинной чувственности» [12, р. 44]. Изображения, выполненные от руки, оцифрованные, но не подвергшиеся дополнительной обработке, выглядят невыразительными и тусклыми в сравнении с чрезмерно насыщенной и вызывающей гиперстимуляцию зрения компьютерной графикой.

Таким образом, можно отметить, что экспериментальные направления цифровой архитектуры сформировались под влиянием философских концепций Ж. Делёза, открытий фрактальной геометрии и алгебраической топологии, а также принципов кастомизации и коллаборации (партиципативности), возникших в результате перехода интернета в фазу Web 2.0. Соединение этих факторов задало основной вектор развития цифровой архитектуры, который заключается в приближении принципов проектирования и функционирования зданий к принципам зарождения и развития

живых организмов. Это проявляется в следующих свойствах:

- интерактивности и механизмах обратной связи;
- способности реагировать на изменения условий окружающей среды и эволюционировать, увеличивая разнообразие архитектурных форм;
- тенденции к искривлению, скруглению и фрактальной геометрии в формообразовании.

Данные инновации способствуют гуманизации городской среды, облегчают ее восприятие, повышают выразительные качества проектируемых зданий и придают им экологическую устойчивость. К негативным последствиям дигитализации архитектурного проектирования относится утрата архитектором художественной автономии, ограничение творческой свободы. Существующий разрыв в развитии технологий проектирования и строительства, а также высокая стоимость инновационных строительных материалов ограничивают внедрение инноваций, возникших в рамках экспериментальной цифровой архитектуры, в проектную практику. ▀

Статья поступила
в редакцию 25.08.2020 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Carpo, M. *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence* / M. Carpo. – London: The MIT Press, 2017. – 240 p.
2. Делёз, Ж. Складка. Лейбниц и барокко / Ж. Делёз. – М.: Логос, 1997. – 264 с.
3. Мандельброт, Б. Складка. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
4. Bottazzi, R. *Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design* / R. Bottazzi. – London: Bloomsbury Publishing, 2018. – 256 p.
5. Добрицына, И. От постмодернизма к нелинейной архитектуре / И. Добрицына. – М.: Прогресс-Традиция, 2004. – 416 с.
6. Platonic solids [Electronic resource] // Michael Hansmeyer Computational architecture. – Mode of access: <http://www.michael-hansmeyer.com/platonic-solids>. – Date of access: 07.01.2020.
7. Digital Grotesque I [Electronic resource] // Michael Hansmeyer Computational architecture. – Mode of access: <http://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-I>. – Date of access: 07.01.2020.
8. Burry, J. Burry, M. *The new mathematics of architecture* / J. Burry, M. Burry. – London: Thames & Hudson, 2010. – 272 p.
9. Oosterhuis, K. *Hyperbodies toward an E-motive architecture* / K. Oosterhuis. – Basel: Birkhäuser Verlag, 2003. – 95 p.
10. Allen, M. *Archaeology of the Digital* [Electronic resource] / M. Allen // Domus: digital edition: <http://www.domusweb.it/>. – Mode of access: https://www.domusweb.it/en/architecture/2013/05/15/archaeology_of_the_digital.html. – Date of access: 07.08.2019.
11. Marble, S. *Digital Workflows in Architecture* / S. Marble. – Basel: Birkhäuser Verlag, 2012. – 280 p.
12. 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: University Press of New England, 2007. – P. 41–49.