

## ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 72+007.52

DOI: 10.23968/ВІМАС.2023.039

**Бек-Булатов Владислав Андреевич**, аспирант

(Российский университет дружбы народов)

*E-mail: 1142220989@rudn.ru, ORCID: 0009-0003-7963-1728*

Bek-Bulatov Vladislav Andreevich, postgraduate student  
(RUDN University)

### **ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

#### **PRINCIPLES FOR FORMING ARCHITECTURAL SOLUTIONS USING DIGITAL FABRICATION**

В настоящей статье рассматриваются современные достижения цифровых технологий в области архитектуры и дизайна, уделяется внимание методам цифрового производства, в том числе аддитивного, использованию различных материалов: металла, камня, бетона, полимеров, стекла, глины. Дается анализ влияния, которое оказывает цифровое производство на формирование архитектурных решений на примере готовых объектов, сложностей, которые возникают в процессе реализации проектов, пути их решения. Прогнозируется развитие технологий цифрового производства, оцениваются сдерживающие факторы и пути их преодоления.

*Ключевые слова:* цифровое производство, аддитивные технологии, 3D-печать, цифровой бетон, ЧПУ, архитектурные решения.

This article discusses modern achievements in this area, pays attention to modern methods of digital fabrication, including additive ones, the use of various materials: metal, stone, concrete, polymers, glass. An analysis is given of the impact that digital production has on the formation of architectural solutions on the example of finished objects, difficulties that arise in the process of project implementation, ways to solve them. The development of digital fabrication technologies is predicted, constraints and ways to overcome them are assessed.

*Keywords:* digital fabrication, additive technologies, 3D-printing, digital concrete, CNC machine, architectural solutions.

Цифровое производство изменило подход к архитектурному проектированию и методам строительства. Исследования в области цифрового

производства привлекли внимание многих архитекторов и дизайнеров. С момента создания цифрового производства технологические достижения изменили будущее многих отраслей и концепцию дизайна.

Со временем дальнейшее развитие технологий производства, цифровых технологий, в сочетании с результатами научно-исследовательской работы в области архитектуры и дизайна привело к более широкому внедрению в строительную индустрию методов цифрового производства (Digital Fabrication), которое с 2015 года *«определяется как новая отрасль, в которой инструменты и процессы, управляемые компьютером, преобразуют цифровые проекты непосредственно в физические продукты»* [1]. У архитекторов и дизайнеров появились новые возможности, позволяющие разрабатывать более сложные в архитектурном и технологическом аспектах проекты, которые было бы невозможно выполнить старыми методами и технологиями.

Целью настоящей статьи является исследование влияния технологий цифрового производства на формирование архитектурных решений, и изучение существующей мировой практики и достижений в области цифрового производства, их анализ с позиций художественно-архитектурной, функциональной, экономической и составляющей, решение прикладных производственно-технологических задач и последующий анализ этих составляющих через практический опыт автора.

В технологии цифрового производства цифровая модель объекта, созданная инженером, дизайнером, архитектором, используется в исполнительном робототехническом устройстве для изготовления вещественной модели объекта. При этом резко возрастает производительность, снижаются сроки изготовления, снижаются производственные издержки и потребность в трудовых ресурсах, значительно снижаются отходы производства.

Кроме других положительных аспектов применения технологии цифрового производства, можно отметить взрывной рост такого принципа, как *кастомизация* (customization) конечного продукта, то есть мгновенная возможность внести изменения в продукт в соответствии с пожеланиями потребителя для придания ему уникальных потребительских свойств.

Основные технологии цифрового производства и материалы, применяемые в строительстве:

1. аддитивные технологии (3D-печать) и материалы: бетоны, растворы с различными видами волокон (полимерное, целлюлозное, стекловолокно, базальтовое волокно, асбестовое и т.д., геобетон, полимеры, стекло, глина, металлы, реголит, композиты;

2. аддитивные технологии, роботизированное торкретирование, бетона и фибробетона;
3. роботизированная покраска изделий лакокрасочными материалами;
4. ЧПУ обработка (фрезеровка, резка, гибка, сварка, перфорация) материалов: металла, дерева и материалов на его основе, полимеров, вспененных полимеров, стекла, природного камня, керамики, композитов.
5. роботизированная укладка: блочные материалы, кирпич и т.д.;
6. роботизированное перемещение грунтов в строительстве;
7. роботизированные автопоезда для перемещения грузов.

Применение цифровых технологий производства в строительной индустрии основывается на «старых» строительных технологиях, типовых узлах и конструкциях, основанных на традиционных строительных материалах (металле, бетоне, древесине и т.д.).

Этот фактор сдерживает полную роботизацию технологии строительства и объясняет наличие ручного труда в современных производственных процессах.

Для полной роботизации в первую очередь необходимо появление новых материалов, изделий и конструкций, оборудования, которые позволяют полностью перейти на роботизированный процесс.

Исследования в этом направлении ведутся, и в качестве примера можно привести достижения в области «цифрового бетона» («digital concrete»), под этим общим термином понимаются методы цифрового изготовления бетона, включая 3D-печать) новую металлическую решетку [2] для армирования в процессе 3D-печати (рис. 1).

Возможность изготовления сложных мостовых конструкций (рис. 2) методом 3D-печати продемонстрирована в статье [3].

В кампусе Бэйчэнь Хэбэйского технологического университета с использованием различных технических инноваций был построен напечатанный на 3D-принтере бетонный арочный мост с одним пролетом около 18 м. Как видно (рис. 3), эстетика и структурная точность напечатанного мостового пролета соответствуют строгим критериям [4].

Компания MX3D, чтобы показать возможности 3D-печати металлом, напечатала полностью функциональный мост из нержавеющей стали для пересечения одного из старейших и самых известных каналов в центре Амстердама, Oudezijds Achterburgwal [5]. Уникальный подход позволяет печатать на 3D-принтере прочные, сложные и изящные конструкции из металла (рис. 4). Цель проекта MX3D Bridge – продемонстрировать потенциальные возможности применения технологии многоосевой 3D-печати.

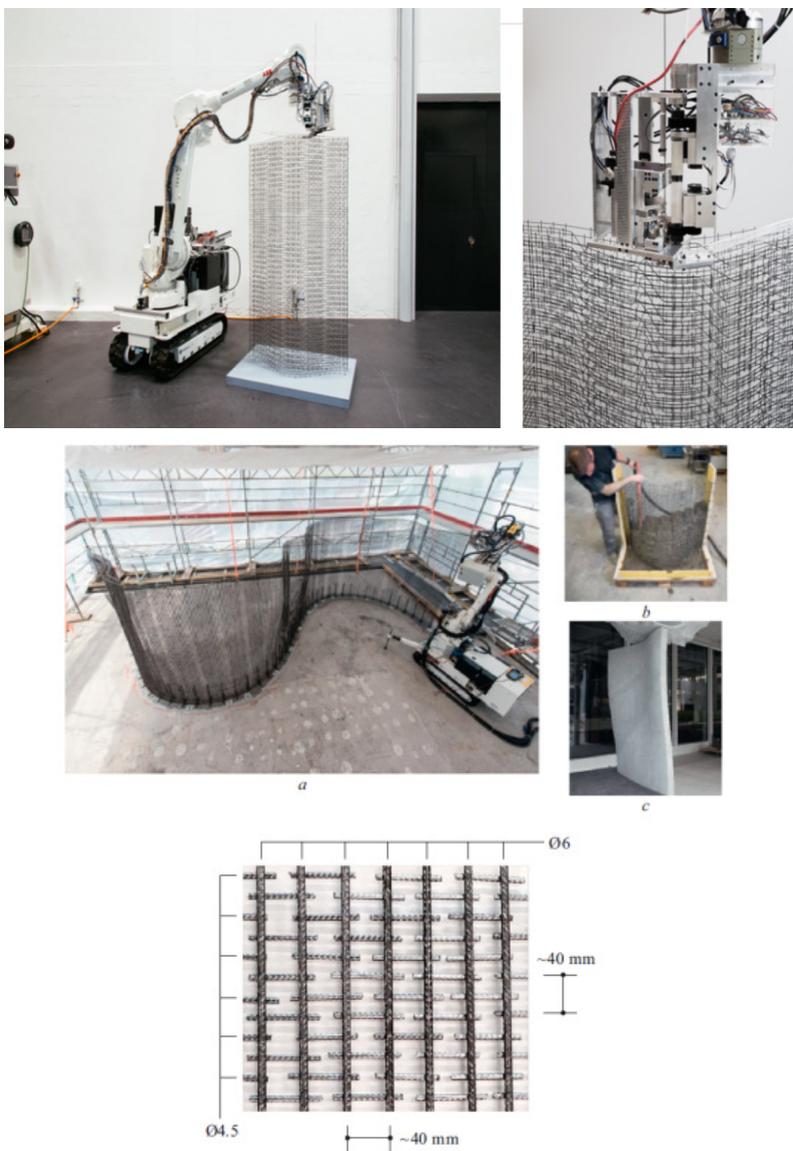


Рис. 1. Новый тип армирования для цифрового бетона [2]



Рис. 2. Сборный мост, изготовленный методом 3D-печати [3]



Рис. 3. Бетонный арочный мост, изготовленный методом 3D-печати [4]



Рис. 4. Металлический мост, изготовленный методом 3D-печати [5]

Результаты исследования в области изготовления изделий сложной формы из стекла приведены на ресурсе [6]. Технология «3D-печать стекла 2» (G3DP 2) позволяет использовать совершенно уникальные средства цифрового проектирования и изготовления изделий из стекла. Это высокоточная крупномасштабная технология аддитивного производства для 3D-печати оптически прозрачных стеклянных конструкций и архитектурных элементов (рис. 5).

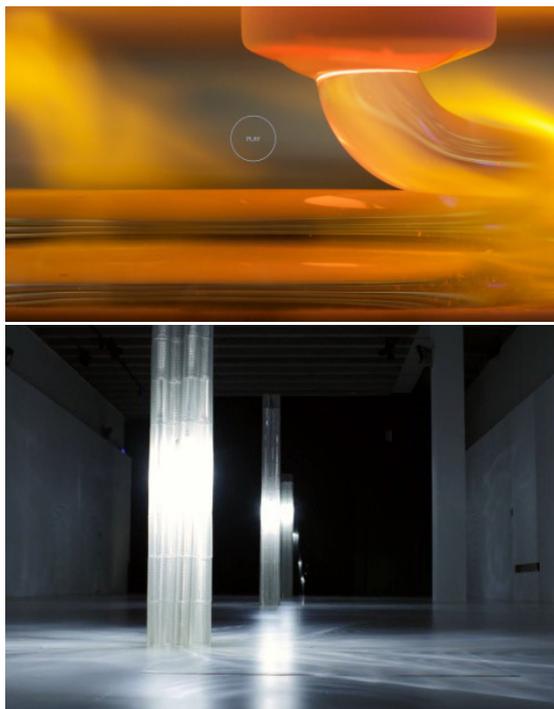


Рис. 5. Процесс 3D-печати стеклом и колонны из стекла [6]

Новый взгляд на глину в качестве строительного материала и ее использование в 3D-печати [7], также демонстрируют положительный результат и широкие возможности для принятия архитектурных решений при создании строительного объекта (рис. 6). Этот проект интересен еще тем, что в нем впервые в мире была скоординирована одновременная работа двух печатающих манипуляторов.



Рис. 6. Сооружения из глины, изготовленные методом 3D-печати [7]

В области 3D печати полимерами нельзя не отметить результаты исследований и их прикладной характер. В совместном проекте ZANA HADID ARCHITECTS и NAGAMI [8] Bow and Rise представлен дизайнерский стул из полимера, результат обширных непрерывных исследований, которые ZANA HADID ARCHITECTS проводит в области 3D-печати и экспериментов с материалами (рис. 7).

В проекте «THE THRONE» [9] демонстрируются возможности 3D-печати полимером изделий сверхбольшого размера и утилизации полимерных отходов в материал, который можно использовать в строительстве (рис. 8).

Библиографический анализ литературных источников по теме цифрового производства в строительстве показывает значительный рост их количества в последнее десятилетие [10]. В области софта, строительного материаловедения и смежных дисциплинах также ведется значительное количество исследований. Все вышеперечисленное создает ту совокупность технологических знаний, которая влияет на процесс формирования многих решений в процессе проектирования, в том числе и архитектурных.



Рис. 7. Дизайнерский стул из полимера, изготовленный методом 3D-печати [8]



Рис. 8. Изделие из полимерных отходов, изготовленное методом 3D-печати [9]

Потребность нового подхода в вопросах формировании архитектурных решений при использовании цифровых технологий возникает под влиянием ряда факторов:

- стремительный рост цифровой экономики;
- исследование, развитие и внедрение ИИ (искусственного интеллекта);
- рост урбанизации;
- снижение численности квалифицированных кадров;
- увеличение требований к качеству и другим потребительским свойствам конечного продукта, при этом эстетические свойства приобретают все больший вес;
- ограниченность ресурсов;
- рост экологических проблем.

В рамках исследования процессов влияющих на принятие архитектурных решений и НИОКР автором был реализован ряд проектов [11]. Один из них – проект параметрического архитектурного панно с хром-эффектом (рис. 9). Размеры панно высота 3200 мм, ширина 3720 мм. Глубина рельефа 135 мм, общая толщина 175 мм. Панно изготовлено методом фрезеровки на обрабатывающем центре с роборукой.

Другой проект - авторский стул с хром-эффектом, изготовленный на 3D-принтере методом послойного наплавления полимера (рис. 10). Габаритные размеры стула: высота 106 см, ширина 55 см, длина 65 см.



Рис. 9. Параметрическое панно с хром-эффектом



Рис. 10. Авторский стул с хром-эффектом

В процессе реализации проектов и изучения возможностей цифрового производства с точки зрения принятия архитектурных решений автором были сделаны следующие выводы:

1. Архитектурная выразительность изготовленных методами цифрового производства объектов находится на очень высоком эстетическом уровне и оправдывает надежды архитекторов и дизайнеров.
2. Массовость применения цифрового производства на отечественном рынке сдерживается осторожным подходом инвесторов и основных игроков на рынке недвижимости.
3. Драйвером служат компании и архитекторы, которые знакомы с возможностями современного цифрового производства.
4. Малоэтажное домостроение, будет являться драйвером развития этой области.

5. Современное искусство также будет площадкой, на которой изделия, изготовленные с применением цифрового производства, будут удивлять и радовать зрителей.

Следующий этап в цифровом производстве в строительстве это операция деятельности двух и более роботов и создание робототехнических комплексов на основе искусственного интеллекта.

К сдерживающим развитие цифрового производства факторам можно отнести следующие:

- недостаток финансирования для R&D у отечественных компаний;
- отсутствие инвесторов;
- отсутствие нормативной базы и конструкторских наработок.

При анализе внутренних и внешних факторов, которые оказывают различную степень воздействия на процесс формирования архитектурных решений, было выявлено, что количество таких факторов растет в настоящее время в геометрической прогрессии и они оказывают, как положительное, так и отрицательное влияние.

К этим факторам можно отнести материалы, технологии, нормативно-законодательная база, экономика проекта, и постоянно меняющиеся внешние макроэкономические факторы. При этом наблюдается дуалистическая природа воздействия этих факторов, каждый из них при определенных обстоятельствах может оказать, как положительное, так и отрицательное воздействие.

Возникает многофакторная бифуркативная модель, которая подтверждает наблюдение автора, что характер выбора архитектурного решения в настоящий момент все сильнее отходит от классического иерархического принципа и становится более подходящим под описание – *ризомного* [12]. Но, при этом остается одна на все времена цель – создание архитектурного объекта, удовлетворяющего эстетические и экономические запросы заказчика.

Наиболее рационально в такой ситуации, переложить анализ такого массива информации на систему с искусственным интеллектом, которая обеспечит архитектора ограниченным набором (двух-трех) наиболее оптимальных вариантов архитектурного решения. Таким образом, в задачу архитектора будет внести завершающие штрихи в творческую составляющую проекта.

#### **Литература**

1. Final Report Summary – DIGINOVA (Innovation for Digital Fabrication). URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/290559/reporting> дата обращения: 31.01.2023).

2. Wangler T., Lloret E., Reiter L., Hack N., Gramazio F., Kohler M., Bernhard M. et al. Digital Concrete: Opportunities and Challenges. RILEM Technical Letters, 2017. Vol. 1, No. 1. P. 67–75. DOI: 10.21809/rilemtechlett.2016.16.
3. Asprone D., Menna C., Bos F.P., Salet T.A.M., Mata-Falcón J., Kaufmann W. Rethinking reinforcement for digital fabrication with concrete. Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 112. P. 111–121. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.05.020.
4. Wang L., Ma G., Liu T., Buswell R., Li Z. Interlayer reinforcement of 3D printed concrete by the in-process deposition of U-nails. Cement and Concrete Research. 2021. Vol. 148. P. 106535. DOI: 10.1016/j.cemconres.2021.106535.
5. Сайт компании MX3D. URL: <https://mx3d.com/industries/infrastructure/mx3d-bridge> (дата обращения: 31.01.2023).
6. Сайт OXMAN. URL: <https://oxman.com/projects/glass-3d-printing> (дата обращения: 31.01.2023).
7. Сайт WASP. URL: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/> (дата обращения: 31.01.2023).
8. Сайт MAGAMI. URL: <https://nagami.design/en/product/rise/> (дата обращения: 31.01.2023).
9. Сайт MAGAMI. URL: <https://nagami.design/en/project/the-throne/> (дата обращения: 31.01.2023).
10. Xiao B., Chen C., Yin X. Recent advancements of robotics in construction. Automation in Construction. 2022. Vol. 144. P. 104591. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104591.
11. Терентьева А. Парящий дом // Salon-Interior. 2023. № 2. С. 70–87.
12. Можейко М.А. Ризома. В кн.: Постмодернизм. Энциклопедия. Сост. и науч. ред. А. А. Грицанов, М. А. Можейко. Минск: Интерпрессервис; Книжный Дом, 2001. С. 656–660.