

УДК 69.002.5

## СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ

**В.А. Хватынец, Л.М. Парфёнова**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: v.hvatynec@psu.by, l.parfenova@psu.by

*В статье рассмотрены основные даты, начиная с первой и заканчивая сегодняшним днём, влияющие на появление строительных 3D-принтеров. Проанализированы и описаны два основных, принципиально отличающихся, технологических процесса работы строительных 3D-принтеров. Так же, рассмотрены три имеющихся типа принтера с технологией послойной печати.*

**Ключевые слова:** строительный 3D-принтер, напыление, послойная печать, цифровая модель, моделирование.

## MODERN LEVEL OF DEVELOPMENT OF BUILDING 3D-PRINTERS

**V. Khvatynec, L. Parfenova**

Polotsk state university, Republic of Belarus

e-mail: v.hvatynec@psu.by, l.parfenova@psu.by

*The article discusses the main dates, starting from the first and ending today, affecting the appearance of building 3D printers. Two main, fundamentally different, technological processes of 3D building printers are analyzed and described. Also, three available types of printer with layered printing technology are considered.*

**Keywords:** building 3D-printer, spraying, layer printing, digital model, modeling.

В современном мире быстрыми темпами набирает популярность понятие 3D-печати. Этот технологический процесс применяется в различных отраслях, таких как: ювелирное дело, медицина, авиаконструирование, автопромышленность, машиностроение и т.д. Наряду с этим, в целях механизации и автоматизации производства, 3D технологии стали внедряться и в строительную отрасль, что происходило постепенно последние 30 лет.

Впервые строительный 3D принтер изобрёл Чарльз Халл в 1986 году [1]. В то время, технологию сочли достаточно трудной и дорогостоящей, за счёт этого принтер не получил широкого применения. Далее, спустя одиннадцать лет, в 1997 году была принята первая попытка печати с использованием в качестве вяжущего – цемент. Тогда, технология предусматривала нанесение тонкого слоя песка с последующим нанесением слоя цементного раствора для схватывания песка в тех местах, где должна был печататься бетонный элемент. После нанесения слоя цементного раствора применялся пар для быстрого набора прочности, а затем печатался следующий слой в такой же последовательности. Из-за сложности технологического процесса, данная работа не была продолжена. В 1998 году профессор Берон Хошневис из Университета Южной Калифорнии,

разработал процесс печати под название «Обработка контуром», который в последующем стал основным методом для печати домов. Исходя из названия, технологический процесс предусматривает собой выдавливание печатающего материала через сопло принтера по контуру конструкции без всяческого использования дополнительной опалубки. В 2007 году итальянский инженер Энрико Динни изобрёл крупногабаритный 3D-принтер, под названием D-Shape, технология печати которого отчасти схожа с разработкой 1997 года. Позднее, в 2012 году Пётр Новиков с коллегами из Института передовой архитектуры Каталонии в Испании, сконструировали роботизированный 3D-принтер склеивающий своим составом смесь из песка и грунта. В 2014 году Плэтт разработал технологию создания только опорных конструкций для строительного объекта, которые позволяют упростить процесс 3D-печати. Печатающий состав был подобран таким образом, что после набора прочности основных элементов, подпорные – теряли свою несущую способность и с лёгкостью демонтировались. Китайская компания Qingdao Unique Technology в 2016 году представила 3D-принтер с размерами 12x12x12 метров, создающий здания методом послойной печати. В 2017 году, итальянская компания WASP представила 3D-принтер BigDelta, который имеет высоту 12 метров и диаметр 6 метров. Отличительной способностью принтера является минимальное, по сравнению с аналогами, потребление энергии – менее 100 Вт.

Первоначально, перед процессом печати на строительном 3D-принтере, требуется создать цифровую модель элемента. Модель может быть создана как при помощи специализированных программ для моделирования, так и с использованием 3D-сканера. После чего, принтер считывает цифровую конструкцию и создаёт путь перемещения печатающей головки.

При применении строительных 3D-принтеров, существует два основных способа печати, напыление и послойная печать. Каждый из методов имеет свои преимущества, и требует детального рассмотрения.

Метод напыления [2], или второе его название – торкретирование (рисунок 1).

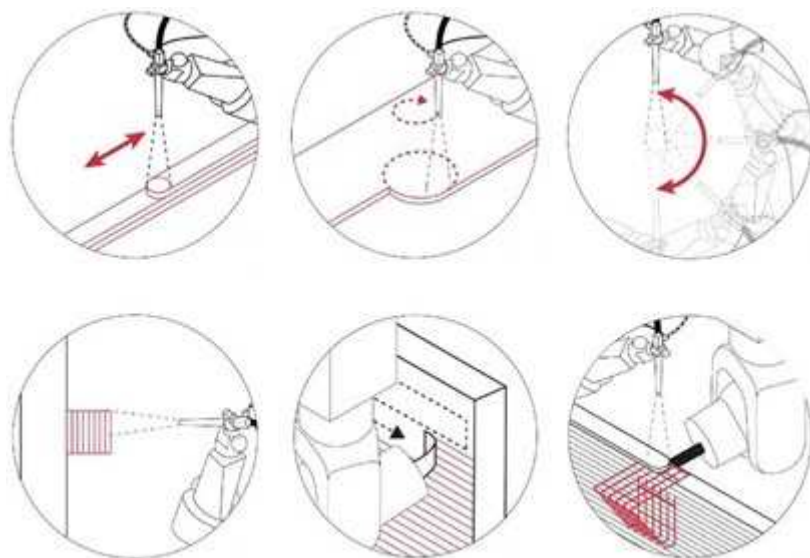


Рисунок 1. – Создание печатного слоя методом напыления

Данный метод производства работ существует уже много лет. Раствор быстро и легко наносится на все виды поверхности и позволяет включать армирование даже при нестандартной геометрии. По сравнению с послойной печатью, распыление даёт некоторые преимущества, бетон можно распылять не только как горизонтальный слой, но и на вертикальную поверхность, регулируя сроки схватывания. Помимо этого, появляется возможность внедрения арматуры внутрь конструкции. Ещё одним преимуществом является увеличения сцепления между слоями, благодаря энергии удара торкретирования. Одним из основных примеров сооружений выполненных этим методом является оперный театр в Тайване от Тойо Ито.

Вторым основным методом является послойная печать, при котором наносят слои небольшой толщины один на один (рисунок 2).



Рисунок 2. – Создание печатного слоя методом послойной печати

Задача принтера заключается в том, что бы сформировать стены заданной геометрической формы с пустотами внутри. Стоит отметить, что большее количество 3D-принтеров имеют именно этот способ печати. Однако, такие принтеры имеют три основных типа, в связи с различными архитектурными и конструктивными требованиями.

Первый тип принтера с послойной печатью имеет название D-shape (рисунок 3).

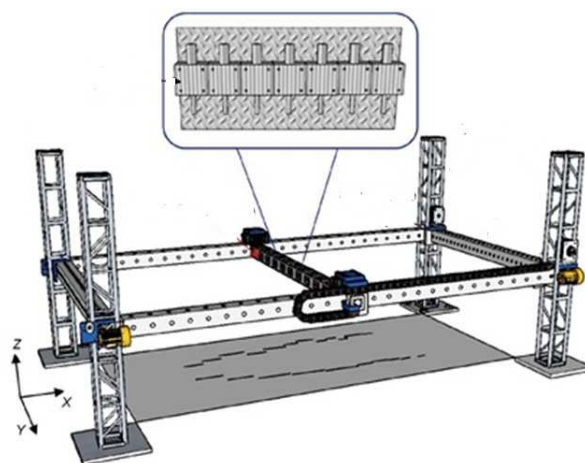


Рисунок 3. – Принтер D-shape

Это большой 3D-принтер который выборочно укрепляет песок при помощи связующего вещества. Печатающая головка, снабжённая набором насадок-распылителей, наносит связывающий раствор для местного твердения песка. Оставшийся песок служит для поддержки структуры. Процесс происходит послойно. После завершения, напечатанное изделие может быть извлечено, а оставшийся песок – повторно используется при дальнейшей печати.

Второй тип – это контурная обработка. Масштабный процесс автоматического построения, который управляется компьютером для создания гладких и точных плоскостей. Контурная обработка обеспечивает лучшее качество получаемой поверхности (рисунок 4). Способ был разработан для решения проблемы высокоскоростного автоматизированного строительства. Портальная система может передвигать печатающее сопло вдоль осей X и Y, а две, параллельно скользящие конструкции перемещают сопло вдоль оси Z.

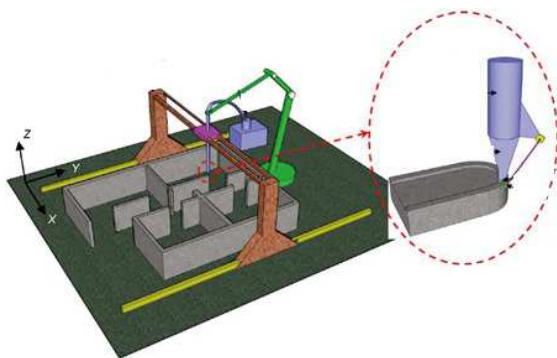


Рисунок 4. – Принтер с контурной обработкой

Третий тип принтера с послойной печатью называется «бетонная печать». Этот принтер в некоторой степени похож на контурную обработку, поскольку для экструзии цемента используется печатающая головка, установленная на раме. Однако этот способ является более точным, что приводит к лучшей точности сложных геометрий (рисунок 5).

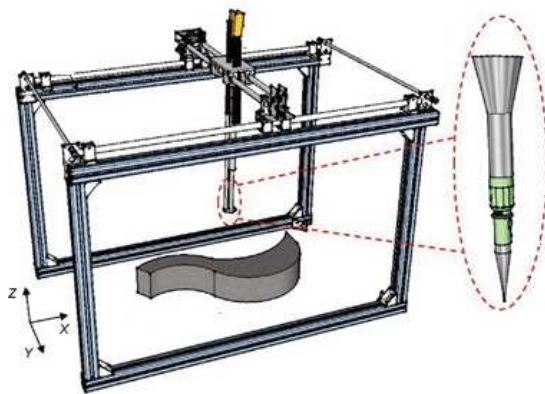


Рисунок 5. – Принтер типа «бетонная печать»

Бетон поступает в контейнер принтера через насос, откуда плавно поступает в печатающее сопло, и лишь после этого бетонные нити выдавливаются из сопла, что бы непрерывно печатать поперечное сечение конструктивных элементов.

Подводя итог, можно отметить, что развитие 3D-печати в строительстве в последние годы продвигается быстрыми темпами, и всё чаще появляются новые модели принтеров и составы смесей для них. Это в большей степени связано с всеобщей компьютеризацией и переходом строительной сферы в цифровое пространство. Даже несмотря на то, что существует достаточно большой выбор принтеров и печатающих смесей, разработки в этом направлении не прекращаются, и каждый год появляются новые разработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. GuoWei, M.A. State-of-the-art of 3D printing technology of cementitious material – An emerging technique for construction / M.A. GuoWei, WANG Li, J.U. Yang // Science China Press and Springer. – 2017. – С. 1-20.
2. Lindemann, H. Development of a shotcrete 3D-printing (SC3DP) technology for additive manufacturing of reinforced freeform concrete structures / H. Lindemann, R. Gerbers, S. Ibrahim, F. Dietrich, E. Herrmann, K. Droder, A. Raatz, H. Kloft // RILEM Bookseries 19. – 2019. – С. 287-298.
3. Ватин Н.И. 3D-печать в строительстве / Н.И. Ватин, Л.И. Чумадова, И.С. Гончаров, В.В. Зыкова, А.Н. Карпеня, А.А. Ким, Е.А. Финашенков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – С. 27-47.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

---

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>