

Современные трехмерные принтеры для аддитивного строительного производства

А.Ф. Требухин, Д.Э. Парри

Московский государственный строительный университет

Аннотация: данная статья посвящена краткому обзору современных трехмерных принтеров, используемых в аддитивном строительном производстве (АСП). Основная цель статьи – анализ основных видов существующих 3D-принтеров для АСП. Описываются особенности их конструкции и методы использования, а также выявляются их преимущества и недостатки при использовании в аддитивном строительном производстве.

Ключевые слова: строительство, аддитивное строительное производство (АСП), аддитивные технологии (АТ), строительная 3D-печать, экструзионная 3D-печать, строительный 3D-принтер.

Согласно проекту ГОСТ Р 1.0.182-1.022.19 2020:

Аддитивное строительное производство, АСП (additive manufacturing in construction) – процесс возведения конструкций зданий и сооружений, основанный на создании объекта строительства по электронной геометрической модели путем добавления материала для аддитивного строительного производства, как правило, слой за слоем.

Строительная 3D-печать (construction 3D printing) – производство строительных изделий и конструкций путем послойного нанесения материала для аддитивного строительного производства печатающей головкой, соплом или с использованием иной технологии печати.

Основным оборудованием строительной 3D-печати является трехмерный принтер (3D-принтер), представляющий из себя механизм, главной задачей которого является последовательная и послойная подача строительной смеси на площадку. По-другому – трехмерная укладка строительной смеси.

3D-принтер (construction 3D-printer) – установка для 3D-печати.

На рис. 1 представлены основные виды существующих строительных

3D-принтеров [1], используемых в аддитивном строительном производстве.

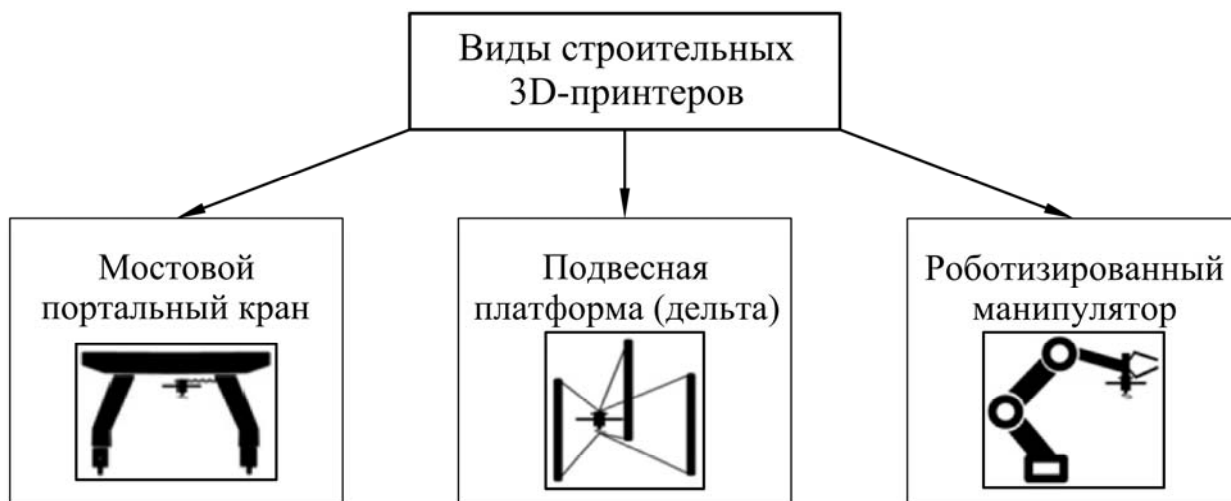


Рис. 1. – Виды строительных 3D-принтеров.

Мостовой порталный кран – это вид конструкции строительного трехмерного принтера, представляющий собой П-образную раму, по которой движется специальная печатающая головка (экструдер), которая перемещается с помощью шаговых двигателей, обеспечивающих наибольшую точность в любом направлении вдоль осей X, Y, Z в декартовых координатах [2]. С помощью данного порталного строительного 3D-принтера можно осуществлять строительство зданий и конструкций методом экструзионной 3D-печати, как на подготовленной для аддитивного производства строительной площадке (on site), так и на заводской территории за пределами строительной площадки (off site). Однако в настоящее время чаще всего применяется метод «off site». Небольшие строения и конструкции (изделия) полностью помещаются под П-образной рамой строительного 3D-принтера и могут напечататься целиком за один раз. Основанием для порталного 3D-принтера могут служить стойки или стеновые балки (рис. 2).

Стойками называются вертикальные элементы конструкции П-образной рамы, обеспечивающие ее жесткость. Стойки могут регулироваться по высоте в зависимости от нужной высоты 3D-печати.

Стеновая балка примыкает к стене цеха. Такие балки называют балками суппортов, по которым вдоль оси X перемещаются два суппорта с синхронизированными приводами, приводящих в движение порталную балку, длину которой подгоняют под помещение. По порталной балке, располагающейся по ширине помещения или пролета цеха (от стены до стены; от одной стеновой балки до другой), вдоль оси Y перемещается каретка, к которой крепится печатающая головка (экструдер). Перемещение печатающей головки может выполняться по вертикали вдоль оси Z с помощью специального механизма, расположенного внутри каретки [3].

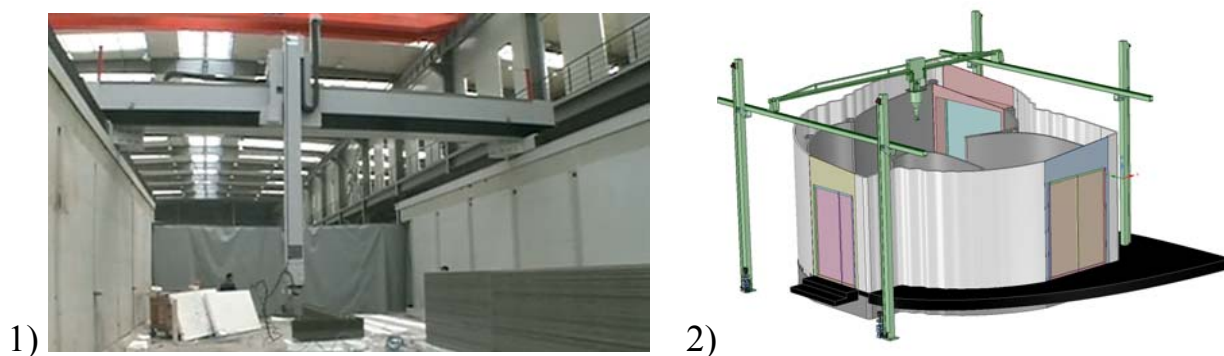


Рис. 2. Строительные порталные 3D-принтеры с разными основаниями:

1) стеновые балки; 2) стойки

Портальная конструкция подобных строительных 3D-принтеров может перемещаться и по рельсовым направляющим, которые требуют тщательной подготовки поверхности для установки. Если рельсы будут установлены не в одной плоскости относительно друг друга, то всю конструкцию оборудования заклинит, или потеряется точность и геометрия печатаемого объекта будет нарушена. Именно в силу этих особенностей порталные 3D-принтеры чаще устанавливаются на заводе, на подготовленных ровных бетонных полах. Строительный порталный 3D-принтер с рельсовыми направляющими представлен на рис. 3.

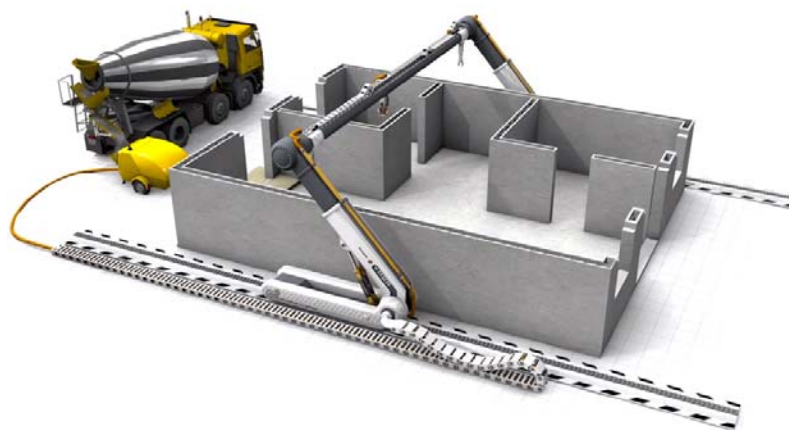


Рис. 3. – Строительный порталный 3D-принтер с рельсовыми направляющими

Преимуществом порталного строительного 3D-принтера является: простота и надежность конструкции; минимальное обслуживание: смазка подшипников, направляющих и мойка печатающей головки после смены [3].

Недостатками являются: ограниченные размеры области 3D-печати – применение в основном для строительства малоэтажных зданий и малогабаритных элементов конструкций и изделий; не мобильная конструкция 3D-принтера; для установки данных 3D-принтеров необходимо подготовить строительную площадку – выполнить выравнивание, проложить направляющие, подвести электроэнергию; при аддитивном производстве на заводе нужна соответствующая высота потолка и длина пролета, позволяющие печатать габаритные сооружения.

На сегодняшний момент строительные 3D-принтеры порталной конструкции активно используются в сборном домостроении для 3D-печати строительных блоков преимущественно в заводских условиях. В перспективе серийная 3D-печать однотипных домов в единой локации – серийные изделия одного типа, произведенные в одном цикле построения или нескольких последовательных циклах построения с использованием материалов для АСП из одной партии и при одинаковых условиях технологического процесса.

Подвесной платформой называется вид конструкции строительного трехмерного дельта-принтера [4], в которой печатающая головка с помощью специальных тросс-кабелей крепится к внешней раме (см. рис.4). Управление движением экструдера происходит за счет сокращения или удлинения этих кабелей [5]. Варианты пространственного позиционирования дельта-принтера представлены на рис. 5. Данный вид 3D-принтера предназначен для строительства крупногабаритных объектов методом экструзионной 3D-печати и является альтернативной заменой порталных 3D-принтеров, так как при возведении объектов большого размера с использованием строительных 3D-принтеров типа дельта затрачивается намного меньше количества энергии для перемещения печатающей головки в сравнении с порталным типом.

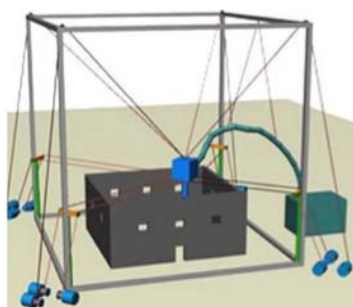


Рис. 4. – Подвесная платформа на примере дельта-принтера

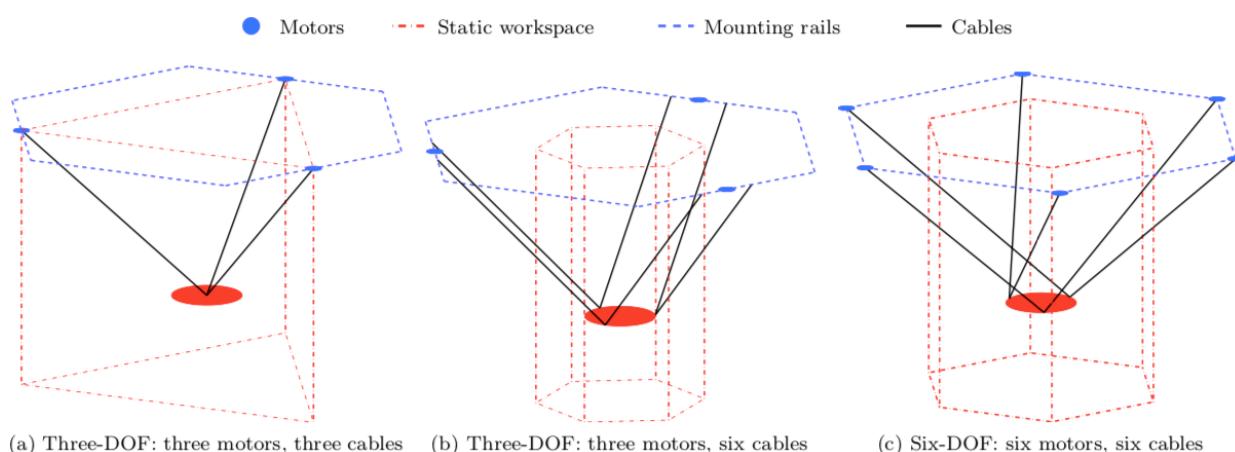


Рис. 5. – Варианты пространственного позиционирования дельта-принтера:

- а) три привода, три кабеля; б) три привода, шесть кабелей; в) шесть приводов, шесть кабелей [5]

Преимуществами строительных дельта-принтеров являются: относительно большое рабочее пространство (поле) для строительной 3D-печати [5]; сборная конструкция принтера, которая легко монтируется, демонтируется и транспортируется на место использования. Основными недостатками дельта-принтеров являются:

- невозможность применения тяжелых печатных головок для строительной 3D-печати бетоном;
- несмотря на возможность печати высоких объектов, сравнительно небольшие размеры 3D-печати в поперечном направлении;
- не мобильная конструкция 3D-принтера.

Роботизированные манипуляторы – это вид современных строительных трехмерных принтеров, оснащенных экструдером и представляющие из себя мобильных роботов типа промышленного манипулятора, управление которыми происходит с помощью компьютера. При возведении строительных объектов данные 3D-принтеры располагают как внутри строящегося здания (обычно — в центре), так и снаружи. Пример такого робота: представленный на рис. 6 (слева) роботизированный принтер-манипулятор компании Apis Cor, работающий в полярных координатах.

Данный вид 3D-принтера предназначен для строительства зданий и сооружений методом экструзионной 3D-печати преимущественно на строительной площадке (on site) благодаря своей мобильности, но можно печатать элементы строительного объекта и на заводской территории за пределами строительной площадки (off site).

По своей конструкции роботизированные принтеры-манипуляторы подразделяются на: 1) миниатюрный башенный кран [6]; 2) роботизированную «руку» (см. рис. 6).



1)

2)

Рис. 6. – Роботизированный трехмерный принтер-манипулятор:

1) миниатюрный башенный кран [6] (пример: 3D-принтер Apis Cor);

2) роботизированная «рука» (пример: 3D-принтер CyBe 3d RC 3Dp [7])

Преимуществами роботизированных трехмерных принтеров-манипуляторов являются:

- небольшие габариты и вес 3D-принтера;
- легкая транспортировка при помощи стандартной строительной техники (пример: кран-манипулятор);
- некоторые модели данных 3D-принтеров не требуют абсолютно ровной площадки печати для его установки (допускается перепад высот до 10 см относительно принтера);
- мобильность в перемещении по строительной площадке при наличии у принтера подвижной платформы или быстрое перемещение при помощи вспомогательной техники (кран-манипулятор), и тем самым неограниченные размеры печатаемых объектов;
- универсальность и возможность построения комплексных решений, которые сочетают в себе применение как аддитивных, так и субтрактивных технологий (постобработка) при помощи сменных насадок экструдера: автоматизированная укладка арматуры и утеплителя, отделка и покраска поверхностей [1] и т.д.

Основными недостатками использования роботизированных трехмерных принтеров-манипуляторов в аддитивном строительном

производстве являются:

- высокая цена оборудования;
- сложность обслуживания, требующая профессиональный и высококвалифицированный персонал;
- ограниченная высота возводимых объектов.

Общими ограниченными техническими возможностями существующих трехмерных строительных принтеров являются:

- 3D-печать только вертикальных малогабаритных конструкций [8] – только стены и каркасы домов. Создание плит перекрытия здания пока не поддается строительной 3D-печати.
- Слоистая и грубая напечатанная поверхность стен, требующая дальнейшей постобработки с участием человека – выравнивание, оштукатуривание или использование облицовочных материалов.

Метод послойного экструдирования является основным способом 3D-печати большинства строительных 3D-принтеров [9]. А самым распространенным материалом для аддитивного строительного производства является бетон с применением специальных добавок. При выполнении экструзионной 3D-печати бетонная смесь должна быть в достаточной степени текучей для возможности ее выдавливания через сопло 3D-принтера.

В настоящее время аддитивное строительное производство является инновационным и перспективным направлением развития, обладающим рядом преимуществ перед традиционными методами строительства. Использование строительных 3D-принтеров, являющиеся основными механизмами строительной 3D-печати объектов, способно повысить качество и точность строительных процессов, и повысить производительность труда за счет автоматизации строительного производства, а также открывает широкие перспективы для создания более сложных архитектурных геометрических форм [10].

Литература

1. N. Labonnote, et al., Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities, *Automation in Construction* 72.3 (2016) 347-366. URL: doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026.

2. Печать домов на 3D-принтере в России, Китае и других странах. URL: top3dshop.ru/blog/3d-printing-houses-in-russia-china-europe-price-video.html.

3. Строительная 3D-печать. Малоформатное оборудование. Практические рекомендации. URL: specavia.pro/articls/Stroitelnaja-3D-pechat-Maloformatnoe-oborudovanie-Prakticheskie-rekomendacii/.

4. Власова Т.А. Экологичные аддитивные технологии в строительстве. // *Инженерный вестник Дона*. 2019. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6015.

5. E. Barnett, C. Gosselin, Large-scale 3D printing with a cable-suspended robot, *Additive Manuf.* 7 (2015) 27–44. URL: doi.org/10.1016/j.addma.2015.05.001.

6. Абрамян С.Г., Илиев А.Б. Современные строительные аддитивные технологии. Часть 2. // *Инженерный вестник Дона*. 2018. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4748.

7. Cybe 3D-printers. URL: cybe.eu/technology/3d-printers/.

8. Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // *Известия КГАСУ*. 2017. №4(42) С.350-359.

9. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // *Вестник Пермского национального исследовательского Строительство и архитектура*. – 2017 – Т. 8, № 1 – С. 90–101. URL: doi.org/10.15593/2224-9826/2017.1.08.

10. J'son & Partners Consulting. 3D-печать (Additive Manufacturing, аддитивное производство): перспективы практического использования. URL:



json.tv/ict_telecom_analytics_view/3d-pechat-additive-manufacturing-additivnoe-proizvodstvo-perspektivy-prakticheskogo-ispolzovaniya-20190521065428.

References

1. N. Labonnote. Automation in Construction 72.3 (2016) 347-366. URL: doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026.
2. Pechat' domov na 3D-printere v Rossii, Kitaye i drugih stranakh. URL: top3dshop.ru/blog/3d-printing-houses-in-russia-china-europe-price-video.html.
3. Stroitel'naya 3D-pechat'. Maloformatnoye oborudovaniye. Prakticheskiye rekomendatsii. URL: specavia.pro/articls/Stroitel'naja-3D-pechat-Maloformatnoe-oborudovanie-Prakticheskie-rekomendacii/.
4. Vlasova T.A. Inzhenernyy vestnik Dona. 2019. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6015.
5. E. Barnett, C. Gosselin. Additive Manuf. 7 (2015) 27–44. URL: doi.org/10.1016/j.addma.2015.05.001.
6. Abramyan S.G., Iliyev A.B. Inzhenernyy vestnik Dona. 2018. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4748.
7. Cybe 3D-printery. URL: cybe.eu/technology/3d-printers/.
8. Mukhametrakhimov R.KH., Vakhitov I.M. Izvestiya KGASU. 2017. №4 (42). pp.350-359.
9. Luneva D.A., Kozhevnikova Ye.O., Kaloshina S.V. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovaniya Stroitel'stvo i arkhitektura. 2017 T. 8, № 1. pp. 90-101. URL: doi.org/10.15593/2224-9826/2017.1.08.
10. J'son & Partners Consulting. URL: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/3d-pechat-additive-manufacturing-additivnoe-proizvodstvo-perspektivy-prakticheskogo-ispolzovaniya-20190521065428.