

РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 69.001.5

3D-ПЕЧАТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОПЫТА

*САМУЙЛОВ Ю. Д., МАЖАНОВА А. И., ЗМУШКО Д. В.,
КОХНОВИЧ Е. С., СКАРИНА О. Н.*

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. На сегодняшний день в мировой практике строительства все громче заявляет о себе технология строительной 3D-печати. Во многих странах мира разрабатываются и внедряются различные технические решения строительных 3D-принтеров, которых на данный момент уже достаточно много.

Активная динамика развития и внедрения аддитивных технологий в строительный сектор экономики вполне понятна, так как эти технологии обещают ряд существенных преимуществ, по сравнению с другими методами строительства. Главными преимуществами являются: значительная экономия материальных затрат на проведения работ, и весьма существенная экономия временных ресурсов.

В связи с широким интересом к данной теме, в Республике Беларусь также взялись за ее разработку. В настоящее время в БНТУ ведутся работы по созданию вариативной имитационной модели аддитивного процесса производства изделий из бетонокомпозитных материалов с использованием разомкнутых кинематических механизмов методом натурального прототипирования.

Однако прежде чем создавать нечто новое в области строительной 3D-печати, необходимо ознакомиться с историей и основными понятиями в сфере аддитивных технологий, а также с имеющимся мировым опытом их реализации в строительстве (реальные технические решения строительных 3D-принтеров, примеры выполненных работ, используемые строительные материалы), обзор которого сделан в данной работе.

История и основные понятия в сфере аддитивных технологий.

Технология 3D-печати появилась в 1986 г., когда компания 3D Systems разработала первый специальный принтер – машину для стереолитографии, которая нашла применение в оборонной промышленности. Первые аппараты были крайне дорогими, а выбор материала для создания моделей был ограничен. Бурное развитие трёхмерной печати началось с развитием технологий проектирования (CAD), расчётов и моделирования (CAE) и механической обработки (CAM). И сегодня сложно найти область производства, где бы не применялись 3D-принтеры: с их помощью изготавливаются детали самолётов, космических аппаратов, подлодок, инструменты, протезы и импланты, ювелирные изделия и многое другое. Перспектива очевидна – во многих производственных сферах аддитивная технология в ближайшее время может стать приоритетной.

Ведущие страны мира активно включаются в 3D-гонку. Так, в 2012 г. в Янгстоуне, Огайо, открылся Национальный инновационный институт аддитивного производства NAMP - первый центр аддитивных технологий из пятнадцати создаваемых в США. Машинный парк института уже насчитывает 10 аддитивных машин, три из которых являются самыми современными машинами для создания металлических деталей.

Суть аддитивных технологий заключается в соединении материалов для создания объектов в 3D-модель слой за слоем. Этим они отличаются от обычных субтрактивных технологий производства, подразумевающих механическую обработку – удаление вещества из заготовки.

Аддитивные технологии классифицируют:

- по используемым материалам (жидким, сыпучим, полимерным, металлопорошковым);
- по наличию лазера;
- по способу фиксирования слоя построения (тепловое воздействие, облучение ультрафиолетом или видимым светом, связующий состав);
- по способу образования слоя (есть два способа формирования слоя: первый называют *селективным синтезом*, он заключается в том, что сначала насыпают на платформу порошковый материал, распределяют его роликом или ножом для создания ровного слоя материала заданной толщины, далее происходит селективная

обработка порошка лазером или другим способом соединения частиц порошка (плавкой или склеиванием) согласно текущему сечению САD-модели, плоскость построения неизменна, а часть порошка остаётся нетронутой; второй способ состоит в непосредственном осаждении материала в точку подведения энергии).

Организация ASTM, занимающаяся разработкой отраслевых стандартов, разделяет 3D-аддитивные технологии на 7 категорий.

Выдавливание материала. В точку построения по подогретому экструдеру подаётся пастообразный материал, представляющий собой смесь связующего и металлического порошка. Построенная сырая модель помещается в печь для того, чтобы удалить связующее и спечь порошок – так же, как это происходит в традиционных технологиях. Эта аддитивная технология реализована под марками MJS (Multiphase Jet Solidification, многофазное отверждение струи), FDM (Fused Deposition Modeling, моделирование методом послойного наплавления), FFF (Fused Filament Fabrication, производство способом наплавления нитей).

Разбрызгивание материала. Например, в технологии Polyjet воск или фотополимер по многоструйной головке подается в точку построения. Эта аддитивная технология также называется Multi jetting Material.

Разбрызгивание связующего. К ним относятся струйные Ink-Jet-технологии впрыскивания в зону построения не модельного материала, а связующего реагента (технология аддитивного производства ExOne).

Соединение листовых материалов. Строительный материал представляет собой полимерную плёнку, металлическую фольгу, листы бумаги и др. Используется, например, в технологии ультразвукового аддитивного производства Fabrisonic. Тонкие пластины из металла свариваются ультразвуком, после чего излишки металла удаляются фрезерованием. Аддитивная технология здесь применяется в сочетании с субтрактивной.

Фотополимеризация в ванне. Технология использует жидкие модельные материалы – фотополимерные смолы. Примером могут служить SLA-технология компании 3D Systems и DLP-технология компаний Envisiontec, Digital Light Procession.

Плавка материала в заранее сформированном слое. Используется в SLS-технологиях, использующих в качестве источника энергии лазер или термоголовку (SHS компании Blueprinter).

Прямое подведение энергии в место построения. Материал и энергия для его плавления поступают в точку построения одновременно. В качестве рабочего органа используется головка, оснащённая системой подвода энергии и материала. Энергия поступает в виде сконцентрированного пучка электронов (Sciaky) или луча лазера (POM, Optomec.). Иногда головка устанавливается на «руке» робота.

Данная классификация наиболее полно отражает особенности аддитивных технологий.

Согласно приведенной выше классификации можно говорить о том, что практически все строительные 3D-принтеры используют адаптированный вариант аддитивной технологии первой категории (*выдавливание материала*), однако есть и исключения, например, проект D-Shape, который применяет *разбрызгивание связующего*.

Примеры конкретных конструктивных решений строительных 3D-принтеров

«StroyBot» Андрея Руденко

Андрей Руденко - один из первопроходцев строительной 3D-печати. Российский инженер, переехавший в Миннесоту, впервые привлек к себе внимание проектом миниатюрного сказочного замка, изготовленного с помощью 3D-принтера собственной конструкции под названием «СтройБот» (рис. 4).

В качестве строительного материала был использован геополимерный бетон из вулканического пепла.

Из технических характеристик своего принтера Руденко указал скорость печати – 130 м²/48 ч. Толщина слоя смеси – 10 мм, диаметр формирующего патрубка – 30 мм.

D -Shape

Один из наиболее необычных вариантов строительной 3D-печати, разработанный итальянским инженером Энрико Дини. В отличие от конкурентных установок, 3D-принтер D-Shape не использует позиционируемый по трем осям экструдер, а полагается на целый массив из 300 сопел, закрепленный на подвижной платформе.

Рабочая площадь в текущей версии составляет 6х6 метров. Технология скорее напоминает струйную печать, а массив используется для нанесения связующего агента на слои песка. Первая модель принтера, запатентованная в 2006 году, печатала эпоксидными смолами, но такой подход вызвал немало технических трудностей и был оставлен. Новая версия, запатентованная в 2008 году, использует в качестве вяжущего оксиды металлов и хлорид магния.

Серийные строительные принтеры ООО «СПЕЦАВИА»

ООО «СПЕЦАВИА» (Россия, г. Ярославль) выпустила в продажу целую серию строительных 3D-принтеров:

Таблица 1

Основные технические характеристики строительных принтеров ООО «СПЕЦАВИА»

| Наименование модели принтера | Рабочая скорость, м/мин | Рабочая зона, мм | Потребляемая мощность, кВт |
|---|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| ПРИНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (3D) S-2020 | 8 | 2500×1600 ×800 | 1,6 |
| ПРИНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (3D) S-1160 | 12 /0,6 | 11500×11600 ×2700 | 7,5 |
| ПРИНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (3D) S-4063 | 8 | 3500×5200 ×1000 | 1,3 |
| ПРИНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (3D) S-6043 | 9 | 3500×3600 ×1000 | 1,5 |
| ПРИНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (3D) S-6044 | 9 | 3500×3600 ×1000 | 1,6 |
| ПРИНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (3D) S-6044 LONG | 9 | 3500×8000 ×1500 | 1,6 |
| ПРИНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (3D) S-6044 M | 12 | 3500×3600 ×1000 | 1,6 |
| ПРИНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ (3D) S-6045M | 12 | 3500×3600 ×1000 | 1,6 |

Серийные строительные 3D-принтеры словенской компании BetAbram

Таблица 2

Основные технические характеристики строительных принтеров компании BetAbram

| Наименование модели принтера | Рабочая скорость, м/мин | Рабочая зона, м | Потребляемая мощность, кВт |
|------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------------|
| Модель P1 | – | 18 × 9 × 2,5 | 4 |
| Модель P2 | – | 12 × 6 × 2,5 | 4 |
| Модель P3 | – | 6 × 3 × 2,5 | 3 |

3D-принтер-манипулятор для строительства ProTo R 3Dp, Нидерланды

В Нидерландах разработан 3D-принтер-манипулятор для строительства ProTo R 3Dp. Он умеет строить различные конструкции произвольной формы из специального бетона. Разработчики - компания CyBe Additive Industries.

Таблица 3

Основные технические характеристики строительного принтера компании CyBe Additive Industries

| Наименование модели принтера | Рабочая скорость, м/мин | Радиус действия, м | Потребляемая мощность, кВт |
|------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| ProTo R 3Dp | 12 | 3,15 | – |

В декабре 2016 года в Ступино Московской области был осуществлен совместный проект американского стартапа Aris Cor и шести российских компаний. С помощью разработанного компанией Aris Cor 3D-принтера был напечатан жилой дом. Российские компании взяли на себя его отделку и обустройство. Печать самонесущих стен, перегородок и ограждающих конструкций здания заняла 24 часа. После завершения печати принтер извлекли краноманипулятором. Площадь здания составила 38 кв. м, оно напечатано с помощью аддитивной технологии, слой за слоем. Впервые в российской строительной практике дом печатался как единое целое, а не собирался из отпечатанных панелей.

Основные технические характеристики строительного принтера
компании Apis Cor

| Наименование модели принтера | Рабочая скорость, м/мин | Радиус действия/ высота, м | Потребляемая мощность, кВт |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Apis Cor | 1–10 | 4/3,1 | 8 |



Рис. 1. Скульптура под названием «Радиолярия» размером 3×3 метра, выполненная с помощью 3D-принтера D-Shape



Рис. 2. Замок, выполненный с помощью 3D-принтера «StroyBot» Андрея Руденко

С учетом того, что технология строительной 3D-печати сравнительно нова, данных об используемых строительных материалах немного.

В общем можно говорить лишь о том, что практически все существующие строительные 3D-принтеры используют несколько видов строительных смесей, основными из которых можно назвать следующие:

- мелкозернистая бетонная смесь на цементном вяжущем, с различными модифицирующими добавками;
- мелкозернистая фибробетонная смесь на цементном вяжущем, с различными модифицирующими добавками;
- геопалимерная бетонная смесь;
- пенополиуретановая смесь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аддитивная технология: описание, определение, особенности применения и отзывы. Аддитивные технологии в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fb.ru> – Дата доступа: 10.05.2017.

2. Обзорная статья по 3D строительным технологиям [Электронный ресурс], – Режим доступа: <https://geektimes.ru> – Дата доступа: 10.05.2017.

3. Строим дом с помощью 3D-принтера: обзор компаний и перспективы [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://3dtoday.ru> – Дата доступа: 10.05.2017.

4. ООО «СПЕЦАВИА». Официальный сайт [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://specavia.pro>. – Дата доступа: 10.05.2017.

5. 3D-принтер BetAbram: недорогое устройство, которое «напечатает» вам дом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dnews.ru> – Дата доступа: 11.05.2017.

6. Топ-6 строительных принтеров для 3D-печати домов [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://robotrends.ru>. – Дата доступа: 11.05.2017.