

**Строительная 3D-печать: оборудование, способы формования, сферы применения, особенности бетонокомпозитов**

Змушко Д.В., Кохнович Е.С., Скарина О.Н., Мажанова А.И.  
Научный руководитель – Самуйлов Ю.Д.

Строительная 3D-печать, основанная на аддитивных технологиях, постепенно входит в строительную индустрию. Данное явление связано с тем фактом, что технология формования элементов зданий и сооружений при помощи строительного 3D-принтера имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами бетонирования. Экономия материальных и временных ресурсов, оперативное и точное создание сложных архитектурных форм строящегося здания – все это помогает аддитивным технологиям найти свое место на современной стройплощадке.

Аддитивными технологиями называется процесс создания реального физического объекта на основе трехмерной компьютерной модели, который представляет собой наращивание необходимой формы путем послойного нанесения материала.

Первыми строительную 3D-печать начали использовать инженеры из Китая, США, Великобритании, Нидерландов и некоторых других стран. Сейчас аддитивной технологией интересуются и в Республике Беларусь. В БНТУ работают над созданием печатного оборудования и технологии устройства стен, перегородок и других архитектурных элементов зданий при помощи строительной 3D-печати.

В данной статье представлены технические решения оборудования для 3D-бетонирования из различных стран мира, примеры применения 3D-печати. Описаны известные способы формования, приведены особенности бетонокомпозитов.

**Оборудование для 3d-печати и способы формования**

На сегодня в мире создано достаточно большое количество технических решений 3D-принтеров, предназначенных для различных способов формования.

Известные способы формирования элементов зданий и сооружений, при использовании технологии 3D-печати, условно можно разделить на три типа:

1. Послойное формирование несъемной опалубки мелкозернистой фибробетонной смесью с различными модифицирующими добавками, с последующим заполнением полостей опалубки газо- или пенобетоном, либо отвердевающими пенополимерами.

2. Послойное формирование несъемной опалубки отвердевающими пенополимерами, с последующим заполнением полостей опалубки бетонной смесью.

3. Адресное разбрызгивание связующего вещества на послойно наращиваемый объем инертного мелкого заполнителя.

Зарубежные принтеры, реализующие данные способы формования, представлены на рис. 1, (пояснения к рисунку в табл. 1).

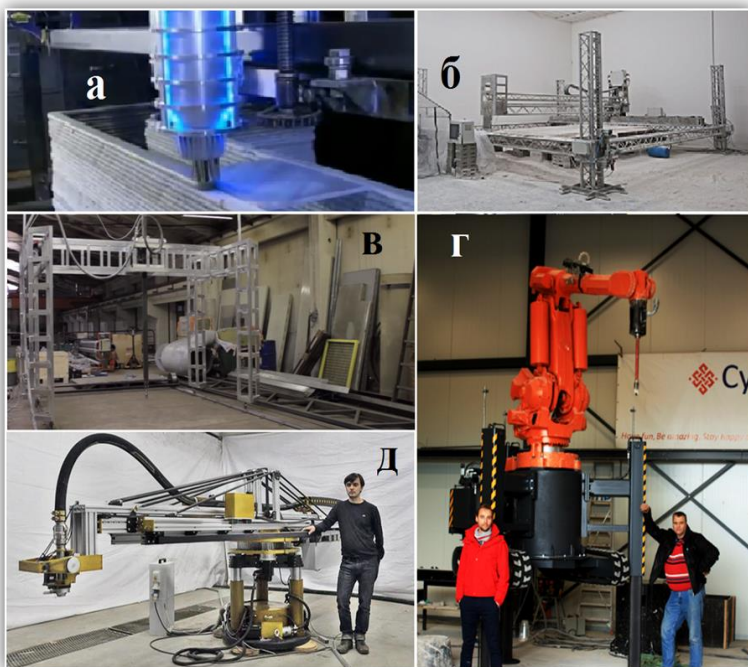


Рис. 1. Примеры 3D-принтеров в зарубежном исполнении

Таблица 1. 3D-принтеры в зарубежном исполнении

Рис.	Название модели	Страна
а	StroyBot	США
б	D-Shape	Франция
в	BetAbram	Словения
г	ProTo R 3Dp	Нидерланды
д	Apis Cor	США-Россия

Впечатляющие успехи в разработке технологии 3D-печати наблюдаются сегодня в России. Организация ООО «СПЕЦАВИА» (Россия, г. Ярославль) выпустила в продажу целую серию строительных 3D-принтеров (рис. 2, пояснения к рисунку в табл. 2), предназначенных для самого широкого спектра работ, начиная производством малых архитектурных форм и заканчивая возведением элементов зданий и сооружений.

Таблица 2. 3D-принтеры ООО «СПЕЦАВИА», РФ

Рис.	Название модели
а	принтер строительный трёхмерной печати (3d) s-2020
б	принтер строительный трёхмерной печати (3d) s-1160
в	принтер строительный трёхмерной печати (3d) s-4063
г	принтер строительный трёхмерной печати (3d) s-6043
д	принтер строительный трёхмерной печати (3d) s-6044
е	принтер строительный трёхмерной печати (3d) s-6044long
ж	принтер строительный трёхмерной печати (3d) s-6044 м
з	принтер строительный трёхмерной печати (3d) s-6045m

Наиболее востребованным в строительной 3D-печати способом формирования является способ первого типа. Именно этот способ реализует большинство технических агрегатов (рис. 3).

Остальные способы формирования распространены значительно меньше и проявлены в единичных случаях (рис. 4, 5).



Рис. 2. 3D-принтеры ООО «СПЕЦАВИА», РФ



Рис. 3. Реализация способа формования первого типа при помощи Aris Cor



Рис. 4. Реализация способа формования второго типа при помощи Digital Construction Platform, MIT, США.

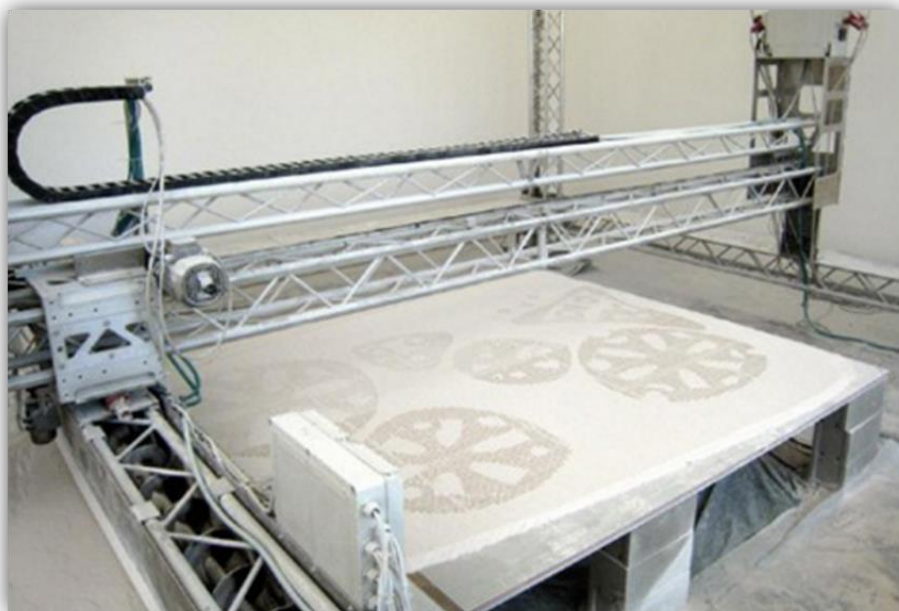


Рис. 5. Реализация способа формования третьего типа при помощи D-Share, Франция.

## Примеры выполненных работ

На текущий момент применение строительной 3D-печати зафиксировано при: возведении зданий простых и сложных архитектурных форм, изготовлении сборных элементов зданий и сооружений, производстве малых архитектурных форм и элементов благоустройства, обустройстве интерьеров зданий.

Ниже продемонстрированы примеры работ, выполненных на строительных 3D-принтерах.



Рис. 6.

- а) замок, выполненный с помощью 3D-принтера «StroyBot»;
- б) пример работы с интерьером (пристройка к филиппинской гостинице Lewis Grand Hotel, площадью 130м<sup>2</sup>, с несколькими спальнями, и джакузи), выполненный с помощью 3D-принтера «StroyBot»;
- в) дом, выполненный с помощью 3D-принтера «Apis Cor»;
- г) дом, выполненный с помощью 3D-принтера китайской компании WinSun Decoration Design Engineering Company, собранный из распечатанных блоков.



Рис. 7. Элементы благоустройства, выполненные на строительных 3-D принтерах первым способом формования.



Рис. 8. Малые архитектурные формы, выполненные на строительном 3-D принтере D-Shape третьим способом формования

### Особенности способа формирования первого типа

Как уже было сказано, наиболее распространенным на данный момент способом формирования при 3-D печати является способ первого типа. Основные элементы, которые стоит рассмотреть для более глубокого понимания процессов формовки, представлены на рис. 9.

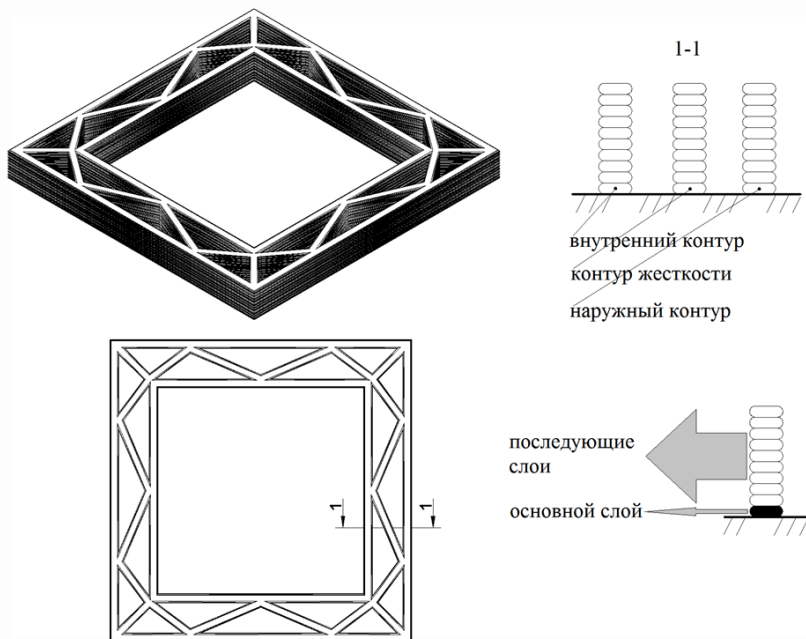


Рис. 9. Основные элементы формируемого объекта при способе формирования первого типа

На рисунке видно, что для формовки объемного тела укладываются три контура: внутренний, наружный, и контур жесткости. Каждый контур состоит из нескольких слоев и укладывается слой за слоем. В этом и состоит суть аддитивных технологий.

Особенности бетонокомпозитов, которые используют в качестве строительного материала при 3-D печати, выражены в: консистенции строительной смеси, ее способностях к пластической деформации.



ции и удержанию формы, динамике набора смесью прочности (основной слой должен нести нагрузку от последующих слоев без разрушений и критических деформаций), транспортабельности смеси по подводящим шлангам до места укладки.

## ЛИТЕРАТУРА

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 VetAbram: 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.

7. Как быстро построить дом из ППУ [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://pmppu.ru> – Дата доступа: 27.10.2017.

8. D-Shape prints the Rygo, the largest 3D print in America [Электронный ресурс], – Режим доступа: <https://www.3dprinter.net> – Дата доступа: 27.10.2017.