

3D-печать бетона

*Самсанович Полина Владимировна, студент 2-го курса
кафедры «Математические методы в строительстве»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научный руководитель – Вербицкая О.Л., канд. техн. наук, доцент)*

3D-печать бетона зародилась ещё в конце XX века, но до 2019 года использовалась только для печати малых архитектурных форм. Печать представляет собой аддитивную технологию, которая строится на создании с помощью САД-программ цифровой модели планируемого здания, в которой отображаются все детали и элементы, и дальнейшей печати (Рис. 1).



Рисунок 1 – Строительство здания технологией 3D-печати бетона

Существует две технологии печати: экструзия и порошковая печать. Экструзия представляет собой послойное нанесение бетона под давлением, толщина слоя зависит от поперечного сечения насадки, выбранной для принтера, а ровность их укладки – от точности координат в цифровой модели. Подготовленная по требованиям заказчика смесь для опалубки загружается в бункер, а из него подаётся к головке принтера.

По типу конструкции различают принтеры: порталные (XYZ-принтеры), «дельта»-принтер, роботизированные, принтеры D-Shape. XYZ-принтеры состоят из трёх порталов, рамы и печатающей головки, которая перемещается по осям X, Y и Z. Недостатком является ограничение по высоте: напечатать полностью получится только те изделия, которые по высоте меньше арки принтера. Принцип работы «дельта»-принтера схож с работой порталного, но он не ограничен тремя направлениями осей. Также принтер не имеет таких

строгих ограничений по высоте, т.к. направляющие двигаются по вертикали, а верхняя часть каркаса остаётся свободной для дополнительных ярусов. Робот-манипулятор является самым компактным из представленных принтеров и обладает более простым строением. Чаще всего это система из одного или нескольких роботов-манипуляторов, которые перемещают экструдер (головку) – элемент, отвечающий за подачу смеси. Отличие принтера D-Shape в том, что используется сухая смесь, которая уплотняется до требуемых значений, а после заливается связующим веществом.

Основной материал для 3D-принтера - мелкозернистый бетон, который послойно наносится из экструдера на предыдущий слой или чистую площадку. Такое послойное нанесение не может быть непрерывным - рекомендуется выполнять работу интервально, т.е. давать время для набора прочности предыдущих слоев, чтобы вся ранее изготовленная конструкция не «упала» и не «расплылась». Каждая компания разрабатывает свой состав бетонной смеси, который зависит от типа используемого принтера, назначения будущего сооружения и требований заказчика. По необходимости в бетонную смесь могут добавляться пластификаторы, фиброволокно, ускорители или замедлители твердения.

Альтернативой бетонной смеси служат композитные материалы, состоящие из минералов геологического происхождения – геополимеры, они не содержат портландцемента, извести, гипса. Геополимеры отличаются прочностью и быстрым временем схватывания, а за счёт состава не подвержены коррозии. Второй вариант: композиты с переработанными материалами, например, стекло. В бетонной смеси стекло выступает в роли заполнителя, для этого стекло разбивают, а затем измельчают до размера частиц не более 1 мм³. Смесь имеет повышенную прочность и пониженную теплопроводность, а также влияет на экологию в положительном ключе.

На прочность напечатанной конструкции напрямую влияет состав смеси, выполнение правил печати, время схватывания т.д. В среднем, значение прочности напечатанного бетона составляет 85-90% от традиционной технологии, что равняется 20...40 МПа. На прочность при сжатии влияет образование пор между слоями напечатанного бетона, что приводит к неоднородности изделия, в местах образования пустот уменьшается адгезия – сцепление слоёв бетона. Пористые изделия будут хуже работать на деформации, т.к. их модуль упругости значительно меньше за счёт пустот. В сравнение, модуль упругости обычного бетона составляет приблизительно 40 ГПа, а пористого – 5...20 ГПа. Показатели прочности на растяжение и на изгиб как для традиционного бетона, так и для напечатанного значительно меньше, чем на

сжатие, т.к. бетон является материалом плохо работающим на растягивающие нагрузки. В этом случае имеется общее решение: армирование конструкции.

Особенностью напечатанного бетона является значительная разница между прочностью на сжатие путём приложения нагрузки параллельно и перпендикулярно напечатанным слоям: значение показателя при действии параллельно слоям превосходит более, чем на 50%, значение перпендикулярно направлению слоя, что является выражением анизотропности.

Напечатанные изделия являются пористыми, поэтому обладают более высокой водопроницаемостью, из чего следует снижение долговечности такой конструкции и уменьшение количества циклов замораживания и оттаивания.

Из всего вышеперечисленного можно вынести как плюсы, так и минусы технологии 3D-печати бетона.

К плюсам отнесём:

1. Экономическая выгода (экономия материалов 60%, исключение перерасхода).
2. Выполнение сложных и смелых архитектурных решений.
3. Значительное сокращение сроков строительства.
4. Безопасность процесса печати.

Минусы:

1. Высокая стоимость принтеров, роботов и т.д.
2. Стимулирует рост безработицы.
3. Качественные показатели ниже, чем у традиционного бетона.
4. Анизотропия механических свойств в готовой конструкции.

В России стоимость дома, напечатанного из базовых материалов (опалубка из стандартной бетонной смеси и монолитное заполнение, толщина готовой стены 40 см), начинается от 19.000 руб. за м². Если рассчитывать стоимость заказа печати дома площадью 100 м² по индивидуальному плану, то здание из пеноблоков или керамических блоков обойдется в 2,4-2,6 млн. рублей, а напечатанный на принтере со всеми перегородками и утеплением – приблизительно в 3 млн. рублей. Из чего следует, что, пусть и присутствует экономия на материалах, времени и рабочей силе, всё же сам процесс остаётся недешёвым (примерно на 10-20% дороже традиционного исполнения).

Можно сделать вывод, что 3D-печать бетона является довольно перспективным направлением. Технология имеет хорошую базу для дальнейшего развития. 3D-печать – это революция в сфере строительства, которая только начинает набирать обороты. Пока что она ориентирована на работу с доступными в данный момент ресурсами и на их экономию, но стоило бы рассматривать её с социальной стороны. Технологию можно развивать в направлении «умных» материалов, например, бетон, который будет проводить

ток. Но это будет дальше, а пока требуется убедиться в практичности и устойчивости данных сооружений по истечению лет.

Литература:

1. 3D-печать в строительстве: технология применения и как это работает [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://3dtool.ru/stati/obzor-primeneniya-3d-printerov-v-stroitelstve/#sposoby-raboty-trekhmernih-stroitelnyh-printerov>. Дата доступа: 18.03.25
2. 3D-печать в строительстве: как это работает, технологии и 3D-принтеры [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/3d-printing-of-buildings-technologies-and-3d-printers.html#tehnologiya-pechati>. Дата доступа: 18.03.25
3. Физико-химические проблемы 3D-печати в строительстве [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5734178>. Дата доступа: 20.03.25
4. Исследование изделий, полученных методом 3D-печати [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-izdeliy-poluchennyh-metodom-3d-pechati>. Дата доступа: 24.03.25