

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИЙ, НАПЕЧАТАННЫХ НА СТРОИТЕЛЬНОМ ПРИНТЕРЕ

Кротов Олег Михайлович, Демидова Юлианна Андреевна
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
krotovom@mail.ru, juliaandreeva99@mail.ru

Цель работы

Цель работы – определение зависимости прочностных характеристик образцов, полученных при испытаниях на сжатие, от временной задержки печати на строительном принтере.

Введение

Изготовление архитектурных компонентов и форм с помощью технологии 3D-печати, благодаря геометрической и конструктивной гибкости [1], дало толчок к значительным изменениям в строительной отрасли. Трёхмерная бетонная печать имеет различные преимущества и перспективы, такие как сокращение времени и ресурсов, исключение использования опалубки, уменьшение затрат строительства, однако результаты все ещё вызывают определенные опасения из-за существующих ограничений технологии [2]. Высокие требования к составу бетонной смеси с использованием различных пластификаторов, фиброволокон и различных добавок гарантирует долговечность и прочность конструкции [3]. Для избежания деформации слоев [4] при печати, подбор смеси осуществляется таким образом, чтобы твердение и набор прочности каждого предыдущего слоя происходил до нанесения следующего. Скорость печати возводимого объекта [5] и высота слоев являются одними из основных характеристик при строительной печати, позволяющие изготавливать крупномасштабные объекты, обеспечивая возможность их применения в строительной сфере.

Таблица 1. Результаты испытаний на изгиб образцов

Прочность при изгибе, МПа	Время задержки, мин				Средний коэффициент изменения прочности
	10	15	20	25	
Перпендикулярное направление	14,0	14,1	14,3	14,4	0,71
Боковое направление	10,9	11,0	11,1	11,2	0,55
Монолитный элемент	20,2				1

Методы

Испытуемые образцы – отшлифованные стандартные балочки, напечатанные на 3-Д принтере, с расположением слоев в продольном и поперечном направлении. **Материал образцов** – готовая строительная смесь с содержанием фиброволокон в составе (за счет них происходит повышение прочностных характеристик смеси). Используется мобильный **строительный принтер** портального типа.

Результаты и их обсуждения

При непрерывной печати образцов слои, расположенные ниже текущего слоя печати, изменяют свою форму и высоту под весом вышележащих слоев, так как напечатанный слой не успевает набрать необходимую прочность. Высоту объекта можно рассчитать пользуясь формулой:

$$H = \frac{x \cdot (1 - 0,05 \cdot d_1) + x \cdot (1 - 0,05 \cdot d_n)}{2} \cdot (n + 1)$$

где x – высота слоя, d – номер нижележащего слоя, n – количество слоев.

Например, высота образца при печати 50 мм с высотой слоя 10 мм равна:

$$H = \frac{1 + 1 \cdot (1 - 0,05 \cdot 4)}{2} \cdot 5 = 45 \text{ мм}$$

То есть, можно утверждать, что при непрерывной печати высота уменьшится на 5 мм.

Задержка между печатью текущего слоя и предыдущего составляет менее 40 минут, за счет чего Испытуемый образец можно воспринимать в виде единой конструкции.

Чтобы определить зависимость прочности образцов, напечатанных на строительном принтере, от времени задержки печати каждого слоя, необходимо определить коэффициент изменения прочности:

$$k_s = \frac{R_p}{R_m}$$

Результаты и их обсуждения

где R_m и R_p — прочности монолитного и напечатанного образцов соответственно.

Данные прочности можно рассчитать по формуле:

$$R_{изг} = \frac{1,5 \cdot F \cdot L}{b^3}$$

Результаты испытаний на изгиб в перпендикулярном и боковом направлениях представлены в таблице 1. Время задержки представлено с шагом в 5 минут. Коэффициенты изменения прочности составляет:

- для перпендикулярного приложения нагрузки – 0,71;
- для бокового приложения нагрузки – 0,55.

Выводы

Прочностные характеристики конструкций, напечатанных на строительном принтере, напрямую зависят от времени задержки печати каждого последующего слоя. Также, расчеты показывают, что при непрерывной печати высота и прочность образцов значительно хуже, чем при печати с временными выдержками.

Рассматривая вариант использования напечатанных конструкций, наиболее оптимальным вариантом является горизонтальное расположение слоев, когда нагрузка воспринимается конструкцией в перпендикулярном направлении.

Список литературы

- [1]. Mehmet Sakin, Yusuf Caner Kiroglu 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM // Energy Procedia, Vol. 134, P. 702-711. 2017. DOI:10.1016/j.egypro.2017.09.562.
- [2]. Chiranjeevi Rahul Rollakanti, C. Venkata Siva Rama Prasad Applications, performance, challenges and current progress of 3D concrete printing technologies as the future of sustainable construction – A state of the art review // Materials Today: Proceedings ,Available online 11 April 2022. DOI:10.1016/j.matpr.2022.03.619.
- [3]. Dipak M. Hajare, Trupti S. Gajbhiye Additive manufacturing (3D printing): Recent progress on advancement of materials and challenges // Materials Today: Proceedings, Available online 3 March 2022. DOI:10.1016/j.matpr.2022.02.391.
- [4]. Wei, Y., Tay, D., Qian, Y., Tan, M.J.: Printability region for 3D concrete printing using slump and slump flow test // Compos. Part B. 2019.174. P. 104-118.
- [5]. 15. Wu, P., Wang, J., Wang, X. Automation in Construction A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry material Finished // Autom. Constr. 2016. Vol. 68. P. 21–31.