

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2019, №4, Том 6 / 2019, No 4, Vol 6 <https://t-s.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/14SATS419.pdf>

DOI: 10.15862/14SATS419 (<http://dx.doi.org/10.15862/14SATS419>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Клиндух Н.Ю., Турышева Е.С., Амузин И.К., Дремин Е.С., Булес Е.Д., Воробьева Е.А. Строительный 3D-принтер манипуляторного типа // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, <https://t-s.today/PDF/14SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/14SATS419

**For citation:**

Klindukh N.Yu., Turysheva E.S., Amuzin I.K., Dremine Ye.S., Bules E.D., Vorobeve E.A. (2019). Construction 3D printer manipulator type. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/14SATS419.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/14SATS419

**УДК 480.7**

**Клиндух Надежда Юрьевна**

ФГАОУ «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Доцент  
Кандидат технических наук  
E-mail: profkom.krasgasa@mail.ru

**Турышева Евгения Сергеевна**

ФГАОУ «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Доцент  
Кандидат технических наук  
E-mail: E.Turisheva@mail.ru

**Амузин Иван Константинович**

ФГАОУ «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Студент  
Магистрант 08.04.01.07 «Комплексная механизация и автоматизация строительства»  
E-mail: van.amuzin@yandex.ru

**Дремин Егор Сергеевич**

ФГАОУ «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Студент  
Магистрант 08.04.01.07 «Комплексная механизация и автоматизация строительства»  
E-mail: yegordremin@gmail.com

**Булес Екатерина Дмитриевна**

ФГАОУ «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Студент  
Магистрант 08.04.01.07 «Комплексная механизация и автоматизация строительства»  
E-mail: kbules11@mail.ru

**Воробьева Елизавета Александровна**

ФГАОУ «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Студент  
Магистрант 08.04.01.07 «Комплексная механизация и автоматизация строительства»  
E-mail: elizavetka\_88@mail.ru

## Строительный 3D-принтер манипуляторного типа

**Аннотация.** Приведены результаты исследования динамики строительного 3D-принтера манипуляторного типа, актуальность применения 3D-печати в строительстве, ее развитие и методы использования, сравнение технологии строительных 3D-принтеров с традиционными методами возведения бетонных конструкций и сооружений, преимущества экономической составляющей данной технологии; выбор типа исследуемого устройства и постановка вопроса исследований; краткая характеристика устройства 3D-принтера, его элементная база и принцип его работы; иллюстрации самого изделия и графические материалы анализа его действий; разработана модель 3D-принтера, позволяющая анализировать динамические процессы взаимодействия скользящей опалубки установки с бетонной смесью; при 3D-печати строительных изделий выполняется безопалубочное формование изделий с применением скользящей опалубки; уплотнение смеси выполняется вибратором установки; определены значения колебаний тележки 3D принтера; получены графики колебательного процесса 3D-печати и величины электрического тока в пусковом и рабочем режимах.

**Ключевые слова:** разметка; 3D-принтер; колебательный процесс; датчики вибрации и тока; виброформование; плотность смеси; прочность на сжатие; амплитуда; ток шагового двигателя; динамическая нагруженность

### Введение

Непрерывное и стремительное развитие новых технологий производства строительных работ уже сейчас позволяет и кардинально меняет взгляды на традиционные, местами архаичные способы возведения зданий и сооружений, а также избавляет от целого ряда проблем в индустрии строительства. На данный момент одними из самых актуальных методов являются применение аддитивных технологий в современной 3D-печати. Использование аддитивных технологий позволяет распечатывать индивидуальные конструкции по трехмерной модели без значительного времени выполнения, повысить производительность с помощью автоматизации технологических процессов. Потенциальным преимуществом аддитивных технологий является также сокращение объемов применения опалубки при бетонировании. В настоящее время бетонные конструкции обычно строятся с использованием временной опалубки, для поддержания желаемой формы влажного бетона пока бетон затвердеет. Опалубочный труд и материал составляет от 35 до 60 % общей стоимости бетонирования конструкций [1–3]. Сокращение использования опалубки не только уменьшает количество отходов, образующихся во время строительства, (около 23 % от общего объема отходов в стране) [4–6], но это также снижает стоимость строительства.

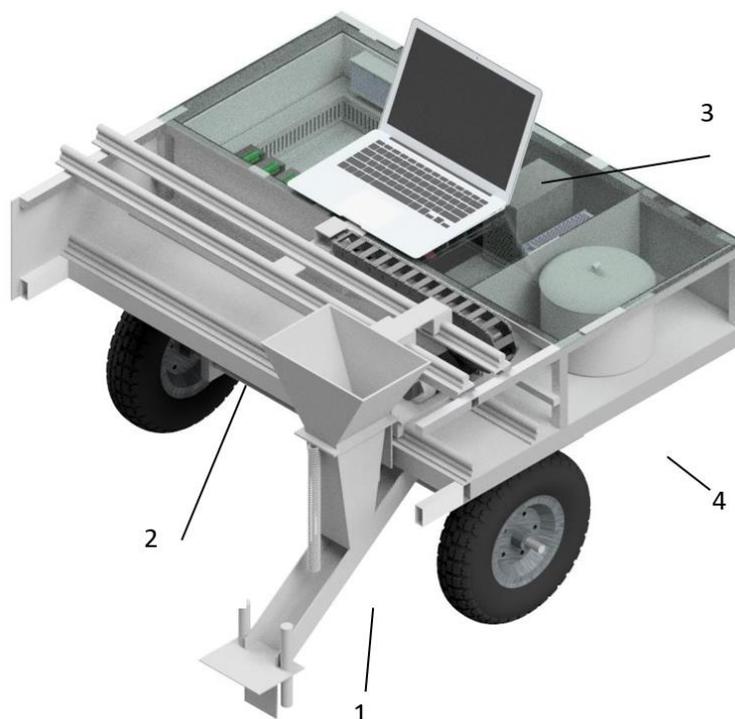
Уже здесь и сейчас применение в аддитивных технологиях находят три основные разновидности конструкций строительного 3D-принтера: на основе робота – манипулятора, а также 3D-принтеры кранового и порталного типов [7–9]. Важнейшим недостатком принтеров порталного типа являются их масса и габариты, в связи с чем их транспортировка и установка значительно время времени и количество усилий для их эксплуатации. Именно этим преимуществом пользуются устройства манипуляторного и кранового типов, так как они более универсальные, мобильные и компактные. И, в зависимости от конкретных условий, могут "печатать" дом как изнутри, так и снаружи, а также, по необходимости, могут быть легко передислоцированы [10].

Анализ исследований в рассматриваемой области показал недостаточно изученный вопрос о поведении 3D строительного принтера при воздействии на него нагрузок различного характера непосредственно при производстве конструкций и изделий. Необходимо исследовать, как влияет используемая рабочая смесь при печати строительных конструкций и воздействующие вибрационные нагрузки на подвеску привода 3D строительного принтера.

## Методы и материалы

Основное преимущество 3D-принтера заключается в его работе. Это своего рода машина, которая передвигается по осям X, Y и Z, так же известным как картезианские координаты, линейно в трех измерениях. Для перемещения по заданным координатам, 3D-принтер имеет шаговые двигатели с цилиндрическими редукторами, которые с высокой точностью и аккуратностью двигаются по 1,8 градуса на каждый шаг. Привода, какими оснащен принтер точно и быстро перемещают печатающую головку. Управление этими «трехмерными» роботами осуществляются контроллером, как и во всех автоматизированных системах, благодаря этому обеспечена возможность перемещать головку печати, выдавливающую бетонную смесь, создавая конструкции слой за слоем. Диапазон движения приводов ограничивается оптическим или механическим фиксатором. Другими словами, это просто ограничительные датчики, подающие сигнал принтеру, что он находится у края рабочей поверхности, дабы предотвратить выход из рамок рабочих платформ. В свою очередь фиксаторы позволяют настроить и откалибровать положение принтера перед каждым началом процесса печати, что позволяет сделать печать более точной и аккуратной.

На рис. 1 приведена модель строительного 3D-принтера манипуляторного типа. Основные задачи исследований заключались в определении динамических характеристик колебательного процесса тележки принтера, силового взаимодействия шаговых двигателей с оборудованием принтера. Эти параметры определялись при варьировании величин внешней нагрузки и конструктивных решений узлов агрегата.



1 – экструдер; 2 – каретка; 3 – система управления; 4 – передвижное устройство

**Рисунок 1.** Строительный 3D-принтер манипуляторного типа (разработано Амузиным И.К. и Емельяновым Р.Т.)

Использовано оборудование: ПИД регулятор (DAMP/GAIN) с драйвером щеточного серводвигателя ЩСД PLD2080s, пьезоэлектрические датчики вибрации DFR0052, датчик тока ACS712. Вибрация ходовой тележки определялась с целью определения влияния ее на точность позиционирования. Вибрация тележки 3D-принтера измерялась на холостом ходу двигателя и в режиме печати изделия. Датчик вибрации крепился на корпусе 3D-принтера.

Исследования динамических процессов формирования стеклофибробетонных конструкций проводились при наполнении бункера стеклофибробетонной смесью и процесс движения с одновременным вибрированием стенок бункера и скользящей опалубки.

При проведении экспериментов определялись динамические характеристики процессов виброформования:

- прочность на сжатие и частота колебаний стенок вибробункера и скользящей опалубки;
- амплитуда и частота колебаний стеклофибробетонной смеси.

Главным критерием работоспособности в режиме воздействия на 3D принтер динамических нагрузок является амплитуда колебаний бункера и ее вторая производная ускорения. В числе других параметров, влияющих на величину динамической нагруженности являются: масса колебательной системы, масса дебаланса вибратора, радиус эксцентриситета, частота вращения дебаланса, угол сдвига фаз, объем бетонной смеси.

Параметры, определяемые в процессе экспериментов приведены в таблице 1.

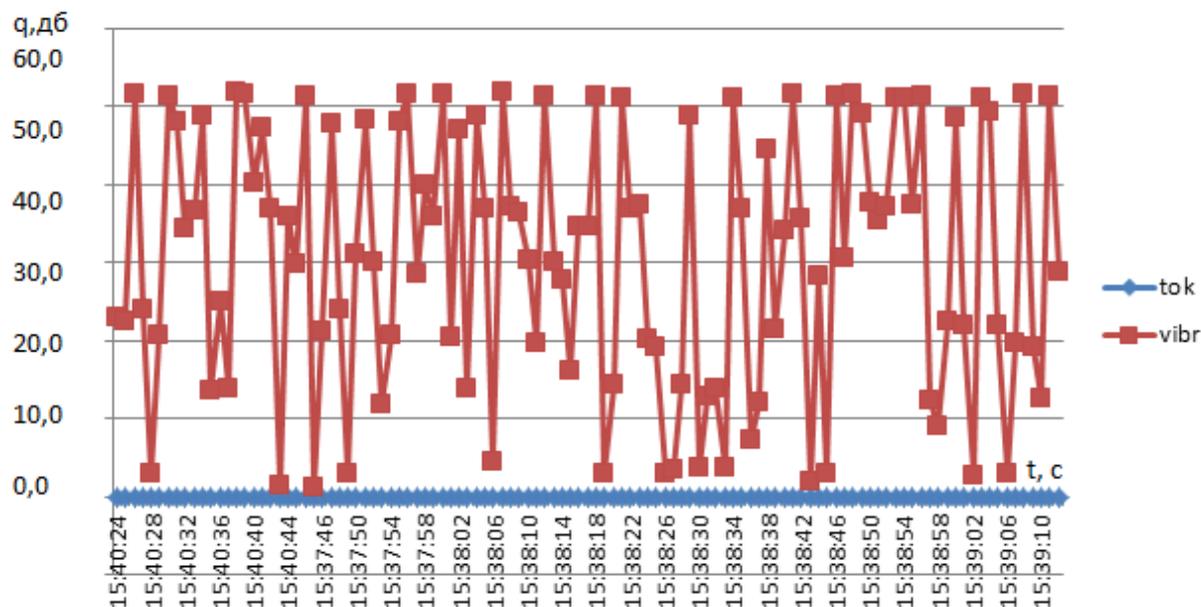
Таблица 1

**Исходные параметры типа**

Параметры	Аппаратура	Объект определенных параметров
Частота и амплитуда колебаний стенок бункера, Гц	Analog Devices с USB	колесо, отбойный брус
Плотность стеклофибробетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	ВА-2	то же
Масса компонентов стеклофибробетонной смеси, кг	Дозатор	то же
Прочность на сжатие, МПа	Шкала пресса	Пресс

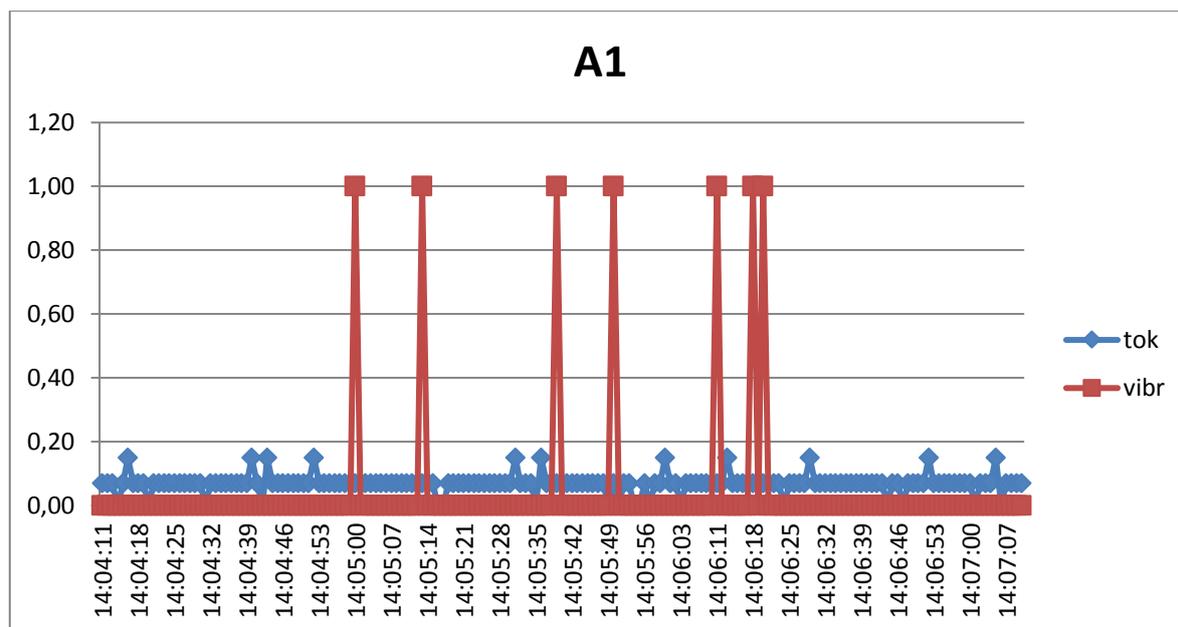
Разработано Амузиным И.К. и Емельяновым Р.Т.

На рис. 2 приведена виброграмма тележки 3D-принтера.



**Рисунок 2.** Виброграмма тележки 3D-принтера типа (разработано Амузиным И.К. и Емельяновым Р.Т.)

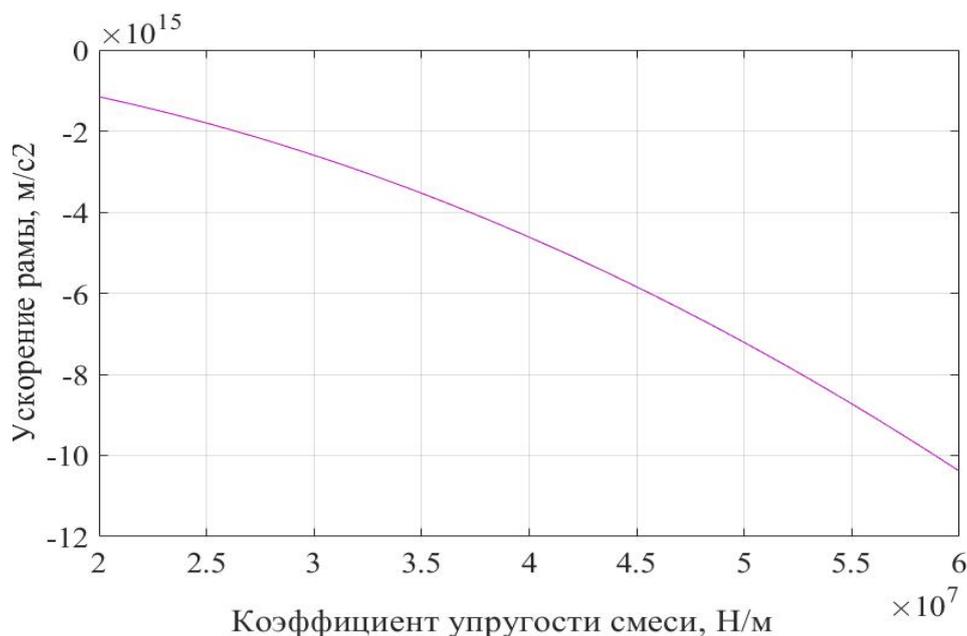
На рис. 3 приведен график тока шагового двигателя в зависимости от времени.



**Рисунок 3.** График исследований тока привода 3D-принтера типа (разработано Амузиным И.К. и Емельяновым Р.Т.)

Как видно из приведенных графиков максимальное значение амплитуды колебаний ходовой тележки не превышает 0,8 мм, максимальное значение тока в пусковом режиме составляет 8,0 А. Определены основные закономерности изменения силы тока шагового двигателя, параметров колебательного процесса, напольного принтера для различных ситуаций.

На рис. 4 приведена график ускорения рамы принтера в зависимости от коэффициента упругости смеси.



**Рисунок 4.** График ускорения рамы принтера в зависимости от коэффициента упругости смеси (разработано Амузиным И.К. и Емельяновым Р.Т.)

### Выводы и заключение

Таким образом, авторами разработана модель 3D-принтера, позволяющая анализировать динамические процессы взаимодействия скользящей опалубки установки с бетонной смесью. Проведенный натурный эксперимент 3D-принтера показал работоспособность оборудования с заданными характеристиками. Уровень вибрации оборудования находится в пределах нормативных значений. На вибрацию оборудования влияет коэффициент упругости смеси. С увеличением коэффициента упругости смеси повышается вибрационная активность оборудования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ватин Н.И., 3D-печать в строительстве / Ватин Н.И., Чумадова Л.И., Гончаров И.С., Зыкова В.В., Карпеня А.Н., Ким А.А., Финашенков Е.А. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №1 (52). С. 27–46.
2. Емельянов Р.Т., Механизация и автоматизация технологических процессов дорожного строительства. Р.Т. Емельянов, В.И. Жаданов, Г.В. Игнатъев, И.С. Инжутов, А.П. Прокопьев // Учебное пособие. Красноярск-Оренбург. СФУ-ОГУ. 2017. 132 с.
3. Аржанников А.О., Емельянов Р.Т., Турышева Е.С. Отработка рабочих параметров строительного 3d-принтера // Молодой ученый. – 2018. – №22. – С. 105–108. – URL: <https://moluch.ru/archive/208/50857/> (дата обращения: 07.11.2019).
4. Kreiger M.A., Mac Allister B.A., Wilhoit J.M., Case M.P. The current state of 3D printing for use in construction. The Proceedings of the 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure. Ames. Iowa. 2015. Pp. 149–158.
5. Bos F. et al. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. Virtual and Physical Prototyping. 2016. T.11. No.3. Pp. 209–225.
6. L. Xi-Qiang, L. Jing-Fang, Z. Tao, H. Liang, Z. Nan, L. Juan, L. Guoyou. Cement-based composite material used for 3D printing technology as well as preparation method and application thereof: pat. CN104310918A. 2014.
7. Y. Tianrong, L. Qiaoling. 3D printing cement-based material and preparation method thereof: pat. CN104891891A. 2015.
8. F. Peng, M. Xinmiao. Fiber reinforced composite material reinforced 3D (three-dimensional) printing structure: pat.CN104309126A. 2014.
9. L. Fu-Cai, W. Yi-Yuan, X. Min, L. Bin, Z. Xin-Zhen, H. Ming. High-performance powder concrete for 3D (three-dimensional) printing: pat. CN104961411A. 2015.
10. Perkins I., Skitmore M. Three-dimensional printing in the construction industry: A review. International Journal of Construction Management. 2015. T.15. No.1. Pp. 1–9.

**Klindukh Nadezhda Yurievna**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: profkom.krasgasa@mail.ru

**Turysheva Evgenia Sergeev**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: E.Turysheva@mail.ru

**Amuzin Ivan Konstantinovich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: van.amuzin@yandex.ru

**Dremin Yegor Sergeevich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: yegordremin@gmail.com

**Bules Ekaterina Dmitrievna**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: kbules11@mail.ru

**Vorobeva Elizaveta Alexandrovna**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: elizavetka\_88@mail.ru

## Construction 3D printer manipulator type

**Abstract.** The results of the study of the dynamics of building a 3D printer manipulator type, the relevance of the application of 3D printing in construction, its development, and methods of use, comparison of technology of building 3D printers with traditional methods of erecting concrete structures, the benefits of the economic component of this technology; the choice of the type of the investigated devices and the question of the research; brief description of the device 3D printer, its components and how it works; illustrations of the product and graphic analysis of his actions; the developed model 3D printer, which allows to analyze dynamic processes of interaction of the moving formwork installation concrete mixture; at 3D printing construction products made of cold forming products with the use of sliding formwork; compacting the mixture is performed by a vibrator unit; the values of the oscillations of the trolley 3D printer; received a graphics oscillatory process of 3D printing and the magnitude of the electric current in starting and operating modes.

**Keywords:** marking; 3D printer; oscillatory process; vibration and current sensors; vibroforming; mixture density; compressive strength; amplitude; stepper motor current; dinnamic loading

## REFERENCES

1. Vatin N.I., Chumadova L.I., Goncharov I.S., Zykova V.V., Karpenya A.N., Kim A.A., Finashenkov E.A. (2017). 3D printing in construction. *Construction of unique buildings and structures*, 1(52), pp. 27–46 (in Russian).
2. Emel'yanov R.T., Zhadanov V.I., Ignat'ev G.V., Inzhutov I.S., Prokop'ev A.P. (2017). Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov dorozhnogo stroitel'stv. [*Mechanization and automation of technological processes of road construction.*] Krasnoyarsk-Orenburg: Siberian Federal University-Orenburg State University, p. 132.
3. Arzhannikov A.O., Emel'yanov R.T., Turysheva E.S. (2018). Testing the working parameters of a construction 3d printer. *Young scientist*, [online] 22, pp. 105–108. Available at: <https://moluch.ru/archive/208/50857/> (in Russian). [Accessed 07.11.2019].
4. Kreiger M.A., Mac Allister B.A., Wilhoit J.M., Case M.P. (2015). *The current state of 3D printing for use in construction*. Ames. Iowa, pp. 149–158.
5. Bos F. and etc. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 3(11), pp. 209–225.
6. Xi-Qiang L., Jing-Fang L., Tao Z., Liang H., Nan Z., Juan L., Guoyou L. (2014). *Cement-based composite material used for 3D printing technology as well as preparation method and application thereof: pat. CN104310918A.*
7. Tianrong Y., Qiaoling L. (2015). *3D printing cement-based material and preparation method thereof: pat. CN104891891A.*
8. Peng F., Xinmiao M. (2014). *Fiber reinforced composite material reinforced 3D (three-dimensional) printing structure: pat. CN104309126A.*
9. Fu-Cai L., Yi-Yuan W., Min X., Bin L., Xin-Zhen Z., Ming H. (2015). *High-performance powder concrete for 3D (three-dimensional) printing: pat. CN104961411A.*
10. Perkins I., Skitmore M. (2015). Three-dimensional printing in the construction industry: A review. *International Journal of Construction Management*, 1(15), pp. 1–9.