

УДК 624.05

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е.А. Симакова¹, К.И. Селякова², Д. Кравченко³

^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. Технологии 3D-печати относятся к аддитивному производству. Создание объекта из цифровой 3D-модели представляет собой последовательное нанесение слоев материала печатной головкой, с помощью сопла или другим методом. 3D-печать успешно применяется и в строительстве для изготовления разнообразных архитектурных макетов зданий и сооружений, возведения малоэтажных домов, создания отдельных элементов конструкций. Степень изученности темы достаточно высока, так как этим актуальным вопросом интересуются многие специалисты строительной отрасли. В статье проанализирован зарубежный и отечественный опыт применения 3D-печати в строительстве, показаны достоинства и недостатки технологии. Бесспорными основными преимуществами применения 3D-печати в строительстве является повышение скорости и точности строительства, простота эксплуатации, относительно невысокая себестоимость готового объекта. Среди основных недостатков можно отметить высокую стоимость оборудования, высокие требования к составу строительных смесей, климатические препятствия и отсутствие нормативной базы для проектирования и строительства зданий с помощью данной технологии. Отдельное внимание в статье уделено вопросам оптимизации составов и экспериментальным исследованиям свойств бетонной смеси для 3D-печати. Постоянно внедряются новые технологии, разрабатываются новые методики использования принтеров с трехмерной печатью, создаются новые материалы, в том числе из переработанного сырья. Ожидаемые технические решения в сфере 3D-печати позволят уже в ближайшем будущем совершить настоящую революцию в строительной сфере, перевернув все привычные представления о скорости, себестоимости, качестве и эстетической гибкости строительства.

Ключевые слова: строительство, 3D-печать, аддитивные технологии, 3D-принтер, здания и сооружения, бетонная смесь, метод послойного экструдирования, метод спекания, метод компонентной склейки.

Ссылка для цитирования: Симакова Е.А., Селякова К.И., Кравченко Д. Применение 3D-печати в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 3-11. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/3-11.pdf>

3D PRINTING IN CONSTRUCTION

Е.А. Simakova¹, К.И. Selyakova², D. Kravchenko³

^{1, 2, 3} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. 3D printing technology belongs to additive manufacturing. The creation of an object from a digital 3D model is the sequential application of layers of material with a print head, using a nozzle or other method. 3D printing is also successfully used in construction for the manufacture of various architectural models of buildings and structures, the construction of low-rise buildings, and the creation of individual structural elements. The degree of study of the topic is quite high, since many specialists in the construction industry are interested in this topical issue. The article analyzes the foreign and domestic experience of using 3D printing in construction, shows the advantages and disadvantages of the technology. The indisputable main advantages of using 3D printing in construction are an increase in the speed and accuracy of construction, ease of operation, and a relatively low cost of the finished object. Among the main disadvantages are the high cost of equipment, high requirements for the composition of building mixtures, climatic obstacles and the lack of a regulatory framework for the design and construction of buildings using this technology. Special attention in the article is paid to the optimization of compositions and experimental studies of the properties of concrete mix for 3D printing. New technologies are constantly being introduced, new methods of using printers with three-dimensional printing are being developed, new materials are being created, including from recycled materials. The expected technical solutions in the field of 3D printing will make it possible in the near future to make a real revolution in the construction industry, overturning all the usual ideas about the speed, cost, quality and aesthetic flexibility of construction.

Keywords: construction, 3D printing, additive technologies, 3D printer, buildings and structures, concrete mix, layer-by-layer extrusion, sintering, component bonding.

For citation: Simakova E.A., Selyakova K.I., Kravchenko D. 3D printing in construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 1 (1). Pp. 3-11. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/3-11.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Строительной промышленности требуются новые подходы к созданию жилья и инфраструктуры жилых районов, так как традиционные методы строительства, отличающиеся высокими трудозатратами и невысокой автоматизацией, не смогут решить задачи и проблемы, возникающие в результате демографического роста и растущей глобальной урбанизации. Переход от классических технологий возведения зданий и сооружений к аддитивным при помощи строительной 3D-печати может стать решением данной проблемы.

Степень изученности темы достаточно высока, так как этим актуальным вопросом интересуются многие специалисты строительной отрасли. За последние годы был опубликован ряд работ, посвященных данной теме.

Так, А.С. Иноземцев, Е.В. Королев, Н. Д. Лохмутов, Д. В. Куличков, В. В. Ермолаева, И.С. Гончаров и другие исследователи изучали международный опыт реализации технологии 3D-печати в строительстве, анализировали существующие технологические решения отечественных и зарубежных организаций, а также преимущества и недостатки различных подходов к выполнению послойного возведения строительных конструкций [1-6, 10].

Д.А. Лунева, Е.О. Кожевникова, С.В. Калошина изучали основные виды материалов и их комбинации, а также виды армирования конструкций, используемые при 3D-печати зданий и сооружений. В работе [3] описаны разработки зарубежных компаний в сфере строительства домов с помощью 3D-печати, выявлены основные проблемы практического применения 3D-печати, а также рассмотрены направления развития и совершенствования данной технологии.

Использование 3D-печати позволяет воплотить в жизнь архитектурные проекты любой сложности, уменьшить количество производственных отходов, сократить дефицит жилого фонда, снизить материальные, энергетические и трудовые затраты на строительство. В статье [6] авторами рассмотрены основные технологии, которые используются для печати зданий и сооружений, их отличительные особенности, изучен вопрос о материалах, применяемых для изготовления строительной смеси. Проведён обзор строительных компаний, производителей оборудования и исследовательских центров, которые являются основными участниками рынка.

Тенденциям цифровизации в строительной сфере и развитию технологии контурного строительства посвящены работы [7-9]. Е.И. Рыбнов, А.Н. Егоров, Н.С. Горовая рассматривают 3D-печать как экологически чистое производство по сравнению с традиционными методами строительства, которое дает почти неограниченные возможности для реализации сложных архитектурно-планировочных решений зданий. Авторы также разработали и систематизировали показатели, характеризующие технологии контурного строительства с применением 3D-печати.

С.В. Беляева, В.И. Клещевникова, А.О. Баранов, К.А. Самохвалова, Д.В. Рогозинникова и другие исследователи занимались вопросами оптимизации составов и экспериментальными исследованиями свойств бетонной смеси для 3D-печати [10-16].

3D-печать - это процесс изготовления цельных трехмерных объектов различных геометрических форм на основе компьютерной 3D-модели. 3D-печать относится к аддитивному производству, так как эта технология создания объекта из цифровой 3D-модели представляет собой последовательное нанесение слоев материала печатной головкой, с помощью сопла или другим методом.

Технология 3D-печати нашла свое применение во многих сферах деятельности человека, в том числе и в строительстве: изготовление разнообразных архитектурных макетов зданий и сооружений, возведение малоэтажных домов, создание отдельных элементов конструкций.

В строительстве применяется три основные технологии 3D-печати: послойное экструдирование, спекание (селективное спекание) и напыление/компонентная склейка (стереолитография) [3].

В случае применения для создания малых форм и целых объектов строительства экструзионной печати конструкция формируется благодаря нанесению слоями быстротвердеющей смеси бетона с различными добавками, выдавливаемой из рабочего сопла или экструдера 3D-машины. Первое, датированное августом 2012 года, упоминание о применении способа послойного экструдирования в строительстве можно найти в трудах профессора Бехроха Хошневиса из университета Южной Калифорнии (рис. 1).

В основе метода спекания (селективного спекания) лежит процесс расплавления под воздействием концентрированного лазера или солнечного луча расходной смеси в рабочей зоне 3D-аппарата. При этом в качестве рабочего материала может использоваться кварцевый песок. Маркус Кайзер во время учебы в Королевском колледже искусств проводил исследования в заданном направлении, используя потенциал солнечной энергии и обычный песок (рис. 2).

Сущность метода напыления (стереолитографии) состоит в нахождении фотополимера в жидком состоянии в специальной ванне и послойном его отверждении под воздействием лазерного луча, движущегося по намеченной траектории [5]. После завершения обработки одного слоя стол ванны опускается на шаг, и процедура по формированию следующего слоя повторяется. Создатели рабочих проектов для строительства – это группа Петра Новикова в Институте перспективной архитектуры (рис. 3) и итальянский изобретатель Энрико Дини, возглавляющий компанию Monolite UK.

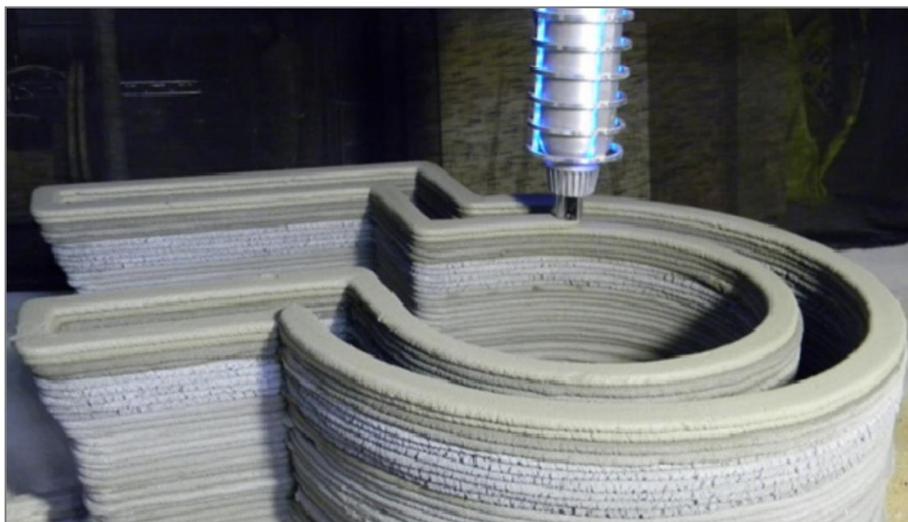


Рис. 1. Изготовление конструкции сооружения методом послойного экструдирования [3].
Fig. 1. Manufacturing of a structure by layer-by-layer extrusion

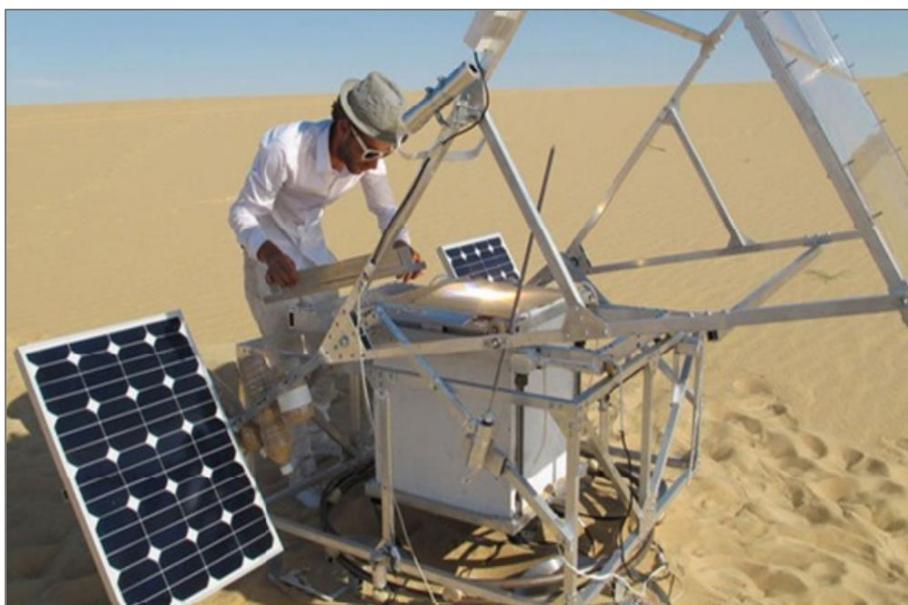


Рис. 2. Установка для реализации метода спекания [3].
Fig. 2. Installation for the implementation of the sintering method



Рис. 3. Рабочие образцы группы П. Новикова, полученные методом компонентной склейки [3]
Fig. 3. Working samples of P. Novikov's group, obtained by the method of component gluing

Таким образом, при реализации технологий спекания и напыления можно использовать солнечную энергию и обычный песок, что делает эти методы экологически безвредными. Но наиболее востребованной технологией аддитивного строительства является экструзионная печать зданий и инфраструктурных элементов благодаря способности создавать крупномасштабные строительные элементы сложных геометрических форм и применению традиционных строительных материалов.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассматривая возможность применения 3D-печати в строительной области, необходимо ознакомиться как с положительными аспектами использования технологии, так и оценить ее отрицательные стороны.

Можно выделить следующие основные преимущества¹ 3D-печати:

- высокая скорость и точность строительства, так как 3D-принтер воспроизводит компьютерную модель в физический формат;
- 3D-принтеры просты в использовании;
- напечатанные на современном 3D-принтере детали по своим характеристикам практически не уступают деталям из стандартных строительных материалов. Они прочные, морозоустойчивые, хорошо переносят воздействие влаги;
- современное оборудование дает возможность изготовить не только саму коробку зданий и его несущие конструкции, но и отдельные элементы;
- минимизация затрат ручного труда, так как большую часть работы выполняет 3D-принтер, снижение производственного травматизма.

Несмотря на перечисленные преимущества применения 3D-технологий в строительной области, проблемы на сегодняшний день тоже существуют. К недостаткам, которые связаны с 3D-печатью, можно отнести [3]:

- высокая стоимость оборудования, которая компенсируется быстрой работой оборудования и быстрой окупаемостью;
- технология строительства с использованием 3D-принтера диктует определенные требования к характеристикам строительных площадок. Габариты строящегося объекта ограничиваются размерами принтера;
- высокие требования к составу бетонной смеси, так как конструкция должна быть прочная и жесткая. Нет универсальной смеси;
- строительство ограничивается относительно теплым временем года, что вызывает затруднения в северных областях;
- ограничения применения 3D-принтера для массовой застройки, связанные с отсутствием нормативной и законодательной базы. В настоящее время строительные принтеры используются для малоэтажного и малогабаритного строительства по индивидуальным проектам, а также для создания малых архитектурных форм.

Таким образом, несмотря на неоспоримые преимущества применения 3D-печати в строительной сфере существует ряд проблем, решение которых будет способствовать развитию аддитивных строительных технологий.

ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

Началом развития 3D-печати, как автоматизированной технологии изготовления строительных конструкций, можно считать проект компании Countour Crafting Corp., которая представила концепцию послойного возведения конструкций в строительстве в 1998 году [1].

Активное использование в строительстве 3D-печати началось в 2014 году. Китайская компания Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co представила сразу 10 домов, которые были возведены с применением 3D-печати.

В течение десяти месяцев происходило усовершенствование технологий и после компания построила еще несколько зданий разного типа, самым высоким из которых был пятиэтажный дом (рис. 4).



Рис. 4. Многоэтажный дом, напечатанный с помощью 3D-принтера компанией WinSun [1].

Fig. 4. Multi-storey building 3D-printed by WinSun

¹ Мустафин Н.Ш., Барышников А.А. Новейшие технологии в строительстве. 3D принтер // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. 2015. № 8(12). [Электронный ресурс]. – URL: <https://regrazvitie.ru/novejshietehnologii-v-stroitelstve-3d-printer> (дата обращения: 05.06.2021)

Через год уже другая китайская компания Zhuoda построила модульный двухэтажный дом за рекордно короткий срок (рис. 5).



Рис. 5. Модульный двухэтажный дом компании Zhuoda²
Fig. 5. Zhuoda modular two-storey house

В техническом университете Эйндховена (Нидерланды) в начале 2015 года начали работу над созданием 3D-принтера для изготовления домов. За это время команда сделала небольшое количество проектов с помощью 3D-принтера, например, мосты, небольшие павильоны и, самое важное, началось проектирование жилых домов.

В 2017 году уже российская компания Apis Cor впервые представила здание, площадью 37 метров квадратных. Объект был полностью отпечатан на строительной площадке (рис. 6).



Рис. 6. Дом российской компании Apis Cor².
Fig. 6. House of the Russian company Apis Cor

Первый жилой дом в Европе и странах СНГ был представлен российской компанией Спецавиа (рис. 7). Сама коробка здания печаталась порталным принтером по частям, а затем ее смонтировали за один месяц на фундаменте [2].

² Жеребцов Н. 17 реальных зданий, напечатанных на 3D-принтере [Электронный ресурс]. – URL: <https://vc.ru/future/101777-17-realnyh-zdaniy-napechatannyh-na-3d-printere> (дата обращения: 07.07.2021)



Рис. 7. Первый в Европе и СНГ жилой дом компании Спецавиа³
Fig. 7. The first residential building of the Spetsavia company in Europe and the CIS

В октябре 2019 года этой же российской компанией было объявлено завершение строительства самого крупного в мире здания, площадью 650 метров квадратных, возведенного с помощью технологии 3D-печати (рис.8). Расположенное в Дубае и имеющее высоту 9,5 м здание было занесено в Книгу рекордов Гиннеса, как самое большое здание, отпечатанное на строительной площадке.

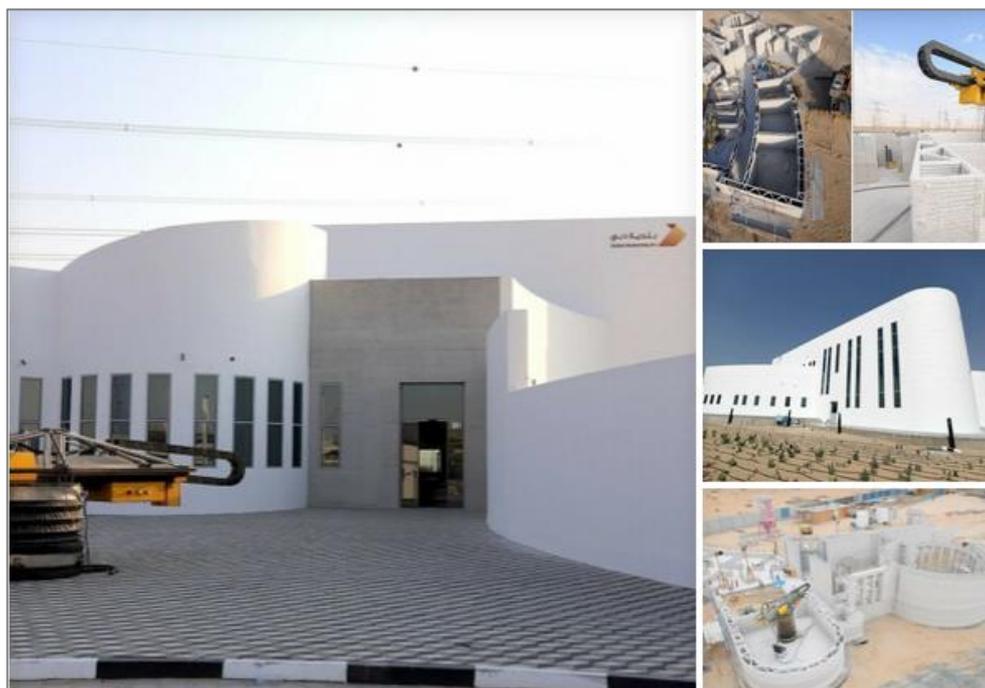


Рис.8. Здание компании Apis Cor в Дубае²
Fig. 8. Apis Cor building in Dubai

3D-технологии имеют перспективы развития в разных странах мира, например, в ОАЭ собираются построить 25% объектов посредством 3D-технологий к 2030 году [4]. Такие темпы вполне возможны, так как уже сегодня скорость 3D-строительства составляет сотни квадратных метров в сутки. Также объемы строительства можно будет нарастить за счет увеличения высотности зданий в случае решения проблем, связанных с вертикальным армированием напечатанных многоэтажек.

³ Жеребцов Н. 17 реальных зданий, напечатанных на 3D-принтере [Электронный ресурс]. – URL: <https://vc.ru/future/101777-17-realnyh-zdaniy-napechatannyh-na-3d-printere> (дата обращения: 07.07.2021)

Также 3D-принтеры активно применяют для реставрации каких-либо деталей, орнамента исторических конструкций, поскольку классические орнаменты на фасадах таких зданий очень сложно, а зачастую просто невозможно, воспроизвести в наше время. Например, архитекторы из Нью-Йорка используют 3D-печать, чтобы восстановить облик исторических зданий, так как методика использования 3D-печати дает возможность создавать и вставлять сложные архитектурно-дизайнерские элементы при небольших затратах (проект EDG) [2]. Архитекторы считают, что эту разработку можно будет применять и в других городах и странах по всему миру. 3D-печать можно использовать в качестве как дополнительный инструмент для решения ряд строительных задач.

Таким образом, с помощью 3D-печати возможно создать не только разнообразные архитектурные конструкции, но и построить реальные здания и сооружения. Разработка и возведение любого проекта с различными уровнями сложности при помощи 3D-принтеров займет в несколько раз меньше времени, нежели стандартное строительство. Есть определенные успехи в реализации принципа послойного возведения конструкций, в том числе и в России, и прогресс в данной сфере не стоит на месте. Постоянно внедряются новые технологии, разрабатываются новые методики использования принтеров с трехмерной печатью, создаются новые материалы, в том числе из переработанного сырья. Ожидаемые технические решения позволят совершить настоящую революцию в строительной сфере, перевернув все привычные представления о скорости, себестоимости, качестве и эстетической гибкости строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из новых направлений в сфере строительства является технология 3D-печати – процесса создания 3D-объектов различных геометрических форм на основе компьютерной модели. С ее помощью слой за слоем можно изготовить разнообразные архитектурные макеты зданий и сооружений, возвести дома в несколько этажей или создать отдельные элементы конструкций.

В строительстве применяется три основные технологии 3D-печати: послойное экструдирование, спекание (селективное спекание) и напыление/компонентная склейка (стереолитография). Методы спекания и напыления считаются экологически безвредными, но наиболее востребованной технологией аддитивного строительства является экструзионная печать.

Бесспорными основными преимуществами применения 3D-печати в строительстве является повышение скорости и точности строительства, простота эксплуатации, относительно невысокая себестоимость готового объекта, снижение использования ручного труда и риска производственного травматизма. Среди основных недостатков можно отметить высокую стоимость оборудования, возможность возведения конструкций в ограниченной рабочей зоне, высокие требования к составу рабочего материала, отсутствие универсальной смеси, климатические препятствия и отсутствие нормативной базы для проектирования и строительства зданий с помощью данной технологии.

В настоящее время строительная отрасль отдает предпочтение использованию классических технологии возведения зданий и сооружений, она отстает от других отраслей промышленности в плане применения 3D-печати. Но интерес к этому направлению проявляют не только университеты и научные группы, но и ведут свои разработки крупные компании, прогресс не стоит на месте, и в будущем применение 3D-печати может кардинально изменить строительную индустрию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 7 (118). С. 863–876. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-8761.
2. Лохмутов Н. Д., Куличков Д. В., Ермолаева В. В. Перспектива развития 3D-печати в строительстве // Молодой ученый. 2018. № 23 (209). С. 177-179.
3. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Каложина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т.8. № 1. С. 90-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08
4. Максимов Н.М., Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы // Аддитивные технологии 2017. №4. С.54-62.
5. Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // Известия КГАСУ. 2017. № 4 (42). С.350-356.
6. Ватин Н.И., Чумадова Л.И., Гончаров И.С., Зыкова В.В., Карпеня А.Н., Ким А.А., Финашенков Е.А. 3D-печать в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №1(52). С. 27-46. DOI: 10.18720/CUBS.52.3
7. Танько В.Д., Калинина Д.А., Савина В.А., Усов М.А., Журавлёва И.А. Тенденции цифровизации в строительной сфере // Экономика и предпринимательство. 2021. № 2 (127). С. 184-187.
8. Рыбнов Е.И., Егоров А.Н., Горовая Н.С. Развитие технологии контурного строительства // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 2 (67). С. 135-140. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-2-135-140

9. Османов С.Г., Колотиенко М.А. К вопросу о возможностях и области рационального применения технологии 3D-печати строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9 (60). С. 64.

10. Беляева С.В., Кротов О.М., Гокканен А.И., Обмачкин В.А. Применение 3D-принтера в строительной отрасли // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт: В 3 частях. Ответственные редакторы: Н. Д. Беляев, В. В. Елистратов. 2019. С. 83-85.

11. Беляева С.В., Клещевникова В.И., Баранов А.О. Оптимизация составов и экспериментальное исследование свойств бетонной смеси для 3D печати // В сборнике: Инженерные задачи: проблемы и пути решения. Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. 2021. С. 24-27.

12. Usanova K., Varabanshchikov Yu.G., Pakrastins L., Akimov S.V., Belyaeva S.V. Heat release and thermal conductivity of expanded-clay concrete for 3D printer // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 2 (102). С. 10210.

13. Самохвалова К.А., Клещевникова В.И., Беляева С.В. Экспериментальное исследование свойств бетонных смесей для 3D-печати // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 56-58.

14. Shatornaya A.M., Chislova M.M., Drozdetskaya M.A., Pthuhina I.S. Efficiency of 3D printing in Civil Engineering // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. № 9 (60). С. 22-30.

15. Самохвалова К.А., Рогозинникова Д.В., Беляева С.В. Смеси для строительной печати в условиях пониженных температур // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 59-61.

16. Школяр Ф.С., Кротов О.М. Определение прочностных характеристик, напечатанных на строительном принтере конструктивных элементов // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 35-38.

REFERENCES

1. Inozemtsev A.S., Korolev E.V., Zyong Thanh Kui. Analysis of existing technological solutions for 3D printing in construction // Vestnik MGSU. 2018. Vol. 13. No. 7 (118). Pp. 863–876. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-8761

2. Lokhmutov N.D., Kulichkov D.V., Ermolaeva V.V. Prospects for the development of 3D printing in construction // Molodoy uchenyy [Young Scientist]. 2018. No. 23 (209). Pp. 177-179.

3. Luneva D.A., Kozhevnikova E.O., Kaloshina S.V. Application and prospects of 3D printing in construction activities. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture. 2017. Vol. 8. No. 1. Pp. 90-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08

4. Maksimov N.M. Additive technologies in construction: equipment and materials // Additivnyye tekhnologii [Additive technologies]. 2017. No. 4. Pp.54-62.

5. Mukhametrakhimov R.Kh., Vakhitov I.M. Additive technology for the construction of buildings and structures using a construction 3D printer // Izvestiya KGASU. 2017. No. 4 (42). Pp. 350-356.

6. Vatin N., Chumadova L., Goncharov I., Zykova V., Karpenya A., Kim A., Finashenkov E. 3D printing in construction // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. No. 1(52). Pp. 27-46. DOI: 10.18720/CUBS.52.3

7. Tanko V.D., Kalinina D.A., Savina V.A., Usov M.A., Zhuravleva I.A. Digitalization Trends in the Construction Sector // Ekonomika i predprinimatel'stvo [Economy and Entrepreneurship]. 2021. No. 2 (127). Pp. 184-187.

8. Rybnov E.I., Egorov A.N., Gorovaya N.S. Development of contour construction technology // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of civil engineers]. 2018. No. 2 (67). Pp. 135-140. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-2-135-140

9. Osmanov S.G., Kolotienko M.A. To the question of the possibilities and the field of rational use of the technology of 3D printing of building structures // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2019. No. 9 (60). P. 64.

10. Belyaeva S.V., Krotov O.M., Gokkanen A.I., Obmachkin V.A. The use of a 3D printer in the construction industry // In: SPbPU Science Week. materials of a scientific conference with international participation, Civil Engineering Institute: In 3 parts. Responsible editors: N. D. Belyaev, V. V. Elistratov. 2019. Pp. 83-85.

11. Belyaeva S.V., Kleshevnikova V.I., Baranov A.O. Optimization of compositions and experimental study of the properties of concrete mix for 3D printing // In: Engineering problems: problems and solutions. Materials of the II All-Russian (national) scientific-practical conference. Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. 2021. Pp. 24-27.

12. Usanova K., Varabanshchikov Yu.G., Pakrastins L., Akimov S.V., Belyaeva S.V. Heat release and thermal conductivity of expanded-clay concrete for 3D printer // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 2 (102). P. 10210.

13. Samokhvalova K.A., Kleshevnikova V.I., Belyaeva S.V. Experimental study of the properties of concrete mixes for 3D printing // In: ICE Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 56-58.

14. Shatornaya A.M., Chislova M.M., Drozdetskaya M.A., Pthuhina I.S. Efficiency of 3D printing in Civil Engineering // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. № 9 (60). С. 22-30.

15. Samokhvalova K.A., Rogozinnikova D.V., Belyaeva S.V. Mixes for construction printing in conditions of low temperatures // In: ICE Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 59-61.

16. Shkolyar F.S., Krotov O.M. Determination of strength characteristics of structural elements printed on a construction printer // In: ICE Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 35-38.

ОБ АВТОРАХ

Елизавета Александровна Симакова – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: simakova.ea@edu.spbstu.ru

Ксения Игоревна Селякова – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: selyakova.ki@edu.spbstu.ru

Диана Кравченко – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: kravchenko.d@edu.spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Elizaveta A. Simakova – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: simakova.ea@edu.spbstu.ru

Ksenia I. Selyakova – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: selyakova.ki@edu.spbstu.ru

Diana Kravchenko – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: kravchenko.d@edu.spbstu.ru