

УДК 691.5

2.1.1 Строительные конструкции,
здания и сооружения (технические науки)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ 3D-ПРИНТЕРЫ И ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е. В. Свинцов, О. В. Петренева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

BUILDING 3D PRINTERS AND THEIR ADVANTAGES IN LOW-RISE CONSTRUCTION

Evgeniy V. Svintsov, Olga V. Petreneva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Аннотация. Поиск новых возможностей в строительстве, позволяющих добиться эффективного результата, уменьшить трудоемкость и сократить сроки возведения зданий, сегодня очень актуален. В данной статье рассмотрено понятие и принцип работы строительного 3D-принтера. Приведены примеры реализованных объектов. Определены виды строительных принтеров в зависимости от компоновки приводов. Описаны материалы, используемые для экструдирования, и основной состав бетонной смеси для печати. Выполнено сравнение трех наиболее распространенных моделей строительных 3D-принтеров (российских и зарубежных) для малоэтажного строительства. Рассмотрен модельный ряд принтеров ведущего в России завода «СПЕЦАВИА», виды выпускаемых принтеров. Обозначены векторы развития в сфере строительной печати. Обоснована необходимость использования строительного принтера в малоэтажном строительстве, названы преимущества и недостатки данного метода возведения зданий.

Abstract. The search for new opportunities in construction to achieve effective results, reduce labor intensity and shorten the time of construction of buildings is very relevant today. This article discusses the term of a construction printer, its operating principle. Examples of completed objects are given. Types of construction printers depending on the drive layout are defined. The materials used for extrusion and the basic composition of the concrete mixture for printing are described. The authors offer a comparison of three most common models of building 3D printers (Russian and foreign) for low-rise construction. Then they describe the model range of printers produced by Russia's leading plant "SPETSAVIA" and their types. The paper highlights the vectors of development in the field of construction printing. It has been justified the necessity of using a building printer in low-rise construction, named the advantages and disadvantages of this method of erecting buildings.

Ключевые слова: строительный 3D-принтер, малоэтажное строительство, инновационные технологии в строительстве, послойное экструдирование

Key words: construction 3D printer, low-rise construction, innovative technologies in construction, layer-by-layer extrusion

Для цитирования: Свинцов, Е. В. Строительные 3D-принтеры и их преимущества при использовании в малоэтажном строительстве / Е. В. Свинцов, О. В. Петренева. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-16-25. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 16–25.

For citation: Svintsov, E. V., & Petreneva, O. V. (2023). Building 3D printers and their advantages in low-rise construction. Architecture, Construction, Transport, (2(104)), pp. 16-25. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-16-25.

Введение

В настоящее время в строительной сфере большое внимание уделяется инновационным технологиям, позволяющим сократить срок строительства, уменьшить трудоемкость процессов и себестоимость возведения объекта. Заказчику или инвестору важно получить максимальную прибыль при меньших капиталовложениях, поэтому возникает потребность в разработке и применении прогрессивных технологий.

Одна из основных задач в сфере строительства – это такая организация строительного производства, при которой будет достигнута максимальная эффективность и целесообразность использования ресурсов, а также созданы наиболее экономически выгодные условия производства. Одним из возможных решений поставленных выше задач является применение аддитивных технологий, в том числе использование строительного 3D-принтера [1].

Объект и методы исследования

Данная статья посвящена обзору устройств для строительной печати. Рассмотрено понятие строительного принтера, его достоинства и недостатки, характеристики оборудования конкретного производителя, определен основной состав бетонной смеси для печати. Также изучен вопрос актуальности и рациональности применения строительных принтеров при возведении малоэтажных зданий и сооружений. В качестве методов исследования применялись описательный и аналитический.

Результаты и обсуждение

3D-принтер в строительстве – устройство для производства физического объекта с применением метода экструдирования на основе цифровой 3D-модели. Принцип работы основывается на экструзии (выдавливании) послойно специальной смеси по заданной трехмерной компьютерной модели. Смесь загружается в бункер устройства, откуда подается к головке принтера.

В настоящее время возможно устройство здания из напечатанных по отдельности элементов либо возведение полностью, без отдельной сборки. Для второго варианта на строительной площадке устанавливают комплект оборудования, включающий в себя 3D-принтер и устройства для подачи материала для него.

По всему миру есть примеры готовых объектов различного функционального назначения, для реализации которых были применены строительные принтеры. Одним из них является одноэтажное офисное здание общей площадью около 250 м², построенное в мае 2016 года в Дубае (рис. 1). Его элементы полностью созданы с помощью строительного принтера высотой 6 м, длиной 37 м и шириной 12 м.

В России также есть примеры «напечатанных» зданий. В г. Ярославле в октябре 2017 года был представлен первый в Европе жилой дом, возведенный с помощью строительного принтера (рис. 2). Ограждающие конструкции здания выполнены с применением порталного принтера, общая площадь дома около 300 м².



Рис. 1. Офисное здание, Дубай, 2016 г.
Fig. 1. Office building, Dubai, 2016



Рис. 2. Жилой дом, Россия, 2017 г.
Fig. 2. Dwelling, Russia, 2017



Рис. 3. Апартаменты, Филиппины, 2015 г.
Fig. 3. Apartments, Philippines, 2015

В качестве еще одного примера приведем апартаменты на территории гостиницы на Филиппинах, построенные в сентябре 2015 года (рис. 3). Размеры объекта составляют $13,5 \times 10,5$ м, высота 3,0 м. В качестве смеси для принтера применялись местные материалы – вулканический пепел и песок.

Строительные 3D-принтеры в зависимости от типа привода и принципа работы бывают следующих видов:

- порталные;
- принтеры с дельта-приводом (трехосевые);
- принтеры-манипуляторы и крановые.

Движение порталных принтеров осуществляется по рельсам, над рабочей зоной расположена рама устройства, по которой движется экзотрудер и подает строительную смесь. В качестве привода используются шаговые двигатели. Портальный привод отличается простотой, надежностью и относительно невысокой стоимостью установки (рис. 4).

Принтеры с дельта-приводом состоят из трех тросов и штанг, которые перемещают печатающую головку на линейных приводах. Основа конструкции – зафиксированная металлическая ферма. В таком устройстве обеспечивается большая подвижность печатающего устройства, но ограничивается площадь печати (рис. 5).



Рис. 4. Портальный строительный принтер
Fig. 4. Gantry construction printer



Рис. 5. Принтер с дельта-приводом
Fig. 5. Delta construction printer

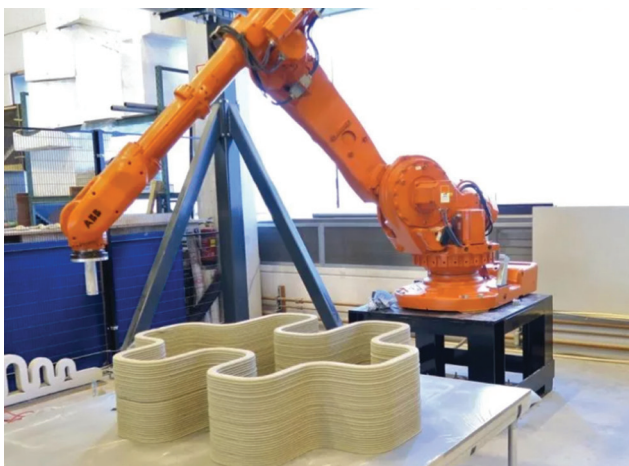


Рис. 6. Строительный принтер-манипулятор
Fig. 6. Construction printer-manipulator

Принтеры-манипуляторы используют роботизированную руку для передвижения печатающей головки. Они мобильны и имеют большую гибкость (рис. 6). Крановые принтеры внешне напоминают башенный кран и устанавливаются в центре возводимого объекта, а не по его периметру, как в предыдущих случаях. Основным достоинством является упрощенный процесс подготовительных работ по установке устройства на строительной площадке.

Для строительных принтеров в качестве рабочего материала применяют мелкозернистые бетонные смеси и растворы, которые должны обладать рядом реологических свойств для обеспе-

чения возможности послойного создания конструктивных элементов здания. К показателям такой смеси относят: удобоукладываемость, условную вязкость, консистенцию вяжущего теста.

Бетонную смесь для строительного принтера можно изготовить на строительной площадке, подобрав состав и соотношение компонентов индивидуально, или возможно приобрести готовую сухую смесь у производителей, специализирующихся на продаже 3D-принтеров.

При анализе работ и патентов других авторов [2–4] установлено, что в основном рабочий материал включает в себя компоненты, аналогичные классическому составу бетонной смеси:

- вяжущее вещество (цемент);
- мелкий заполнитель – песок (двуокись кремния, оливин, хромит, циркон, глинозем, муллит, кварцевое стекло, шамот);
- гипс;
- добавки (пластифицирующие, морозостойкие и т. д.).

Выбор компонентов строительной смеси определяется условиями эксплуатации строительных конструкций и необходимостью получения требуемых физико-механических свойств изделий [5]. Размер фракции определяет толщину и ширину слоя смеси, наносимого экструдером, в основном толщина слоя составляет 5–50 мм.

Основными материалами для печати на строительных принтерах являются пескобетон марок М400 или М500, геоплимерный бетон, специализированные смеси. При печати длинных стен в бетонную смесь вводят стеклянную и полиэфирную фибру: фиброволокно армирует бетон изнутри.

В качестве заполнения пустот стен в местах армирования используются бетонные смеси, в местах без арматуры можно использовать материал с низким коэффициентом теплопроводности, который будет играть роль утеплителя.

Сравним наиболее популярные модели строительных принтеров, с помощью которых можно возвести конструкции для малоэтажного здания. Для сравнения возьмем модель S-300 «СПЕЦ-АВИА» – основного производителя 3D-принтеров в России, принтер FRANK бывшей российской (в

настоящее время американской) компании «Apis Cor» и принтер P3 компании «BetAbram» из Словении, который является самым крупноформатным устройством из представленной линейки (таблица 1).

Нужно отметить, что цена зарубежных принтеров указана без учета стоимости доставки, таможенных сборов и т. д.

Проведя сравнение зарубежных принтеров и отечественного, которые способны напечатать здание примерно одинаковой площади, можно

сделать вывод, что принтер завода «СПЕЦАВИА» имеет приемлемую стоимость и преимущество по высоте рабочей зоны, поэтому отлично подойдет для возведения малоэтажных зданий и может составить конкуренцию на мировом рынке.

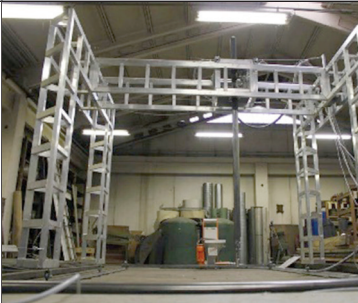
Модельный ряд завода содержит устройства разного формата, которые используют для:

- производства малых архитектурных форм и элементов ландшафтного дизайна;
- изготовления отдельных конструкций зданий с последующей сборкой на стройплощадке;

Таблица 1

Table 1

Характеристики строительных принтеров для малоэтажного строительства
Characteristics of building printers using in low-rise construction

Параметр принтера	S-300 (СПЕЦАВИА)	FRANK (Apis Cor)	P3 (BetAbram)
Внешний вид			
Длина, мм	12 000	4 500	16 000
Ширина, мм	12 000	1 200	9 000
Высота, мм	7 000	1 700	3 500
Вес, кг	3 800	1 800	520
Ориентировочная площадь объекта, для возведения которого предназначен принтер, м ²	120	131	140
Скорость работы, м/мин	12	20	данные неизвестны
Рабочая зона, мм	длина 11 500, ширина 11 000, высота 6 000	радиус печати 5 500, высота 3 200	длина 8 000, ширина 14 000, высота 2 500
Потребляемая мощность, кВт	12	4	4
Стоимость, млн руб.	8,45	18,7	1,7

- печати зданий непосредственно на фундаменте.

Завод производит строительные принтеры трех видов:

- для внутрицеховой печати деталей элементов зданий и малых форм;
- для печати одноэтажных зданий;
- для печати зданий высотой от двух этажей.

Рассмотрим две основные модели 3D-принтера «СПЕЦАВИА», предназначенные для устройства зданий высотой от двух этажей:

1. Портальный строительный принтер S-300. Предназначен для печати зданий площадью до 120 м² непосредственно на фундаменте. Комплектуется электроподъемниками высотой 6 м и оснащен стрелой с прямоточной печатающей головкой для быстрой печати. В базовую комплектацию входит станция приготовления и подачи бетона, разработанная специально для этого принтера.
2. Строительный принтер S-500. Выполняет печать на фундаменте здания высотой до 80 м. Стандартное рабочее поле принтера – 125 м² (11,0 × 11,5 м). Возможна комплектация устройства с увеличением рабочего пространства до 340 м² (11,0 × 31,0 м). В базовой сборке принтер комплектуется электроподъемниками высотой 16 м, что позволяет строить 5-этажные здания.

Основным преимуществом использования данных принтеров в строительстве является способность выявления мелких недостатков в конструкции. Такие принтеры непрерывно модернизируются и развиваются, а их возможности расширяются, например, они могут работать с различными материалами.

Внедрение 3D-принтеров в строительство малоэтажных зданий дает возможность выполнения более сложных архитектурных деталей и элементов. В последние годы аддитивные технологии активно изучаются и развиваются, разрабатываются такие строительные принтеры, которые будут способны возвести полноценные кварталы или отдельные улицы. Благодаря снижению доли человеческого труда и автоматизации части процессов возможно исключить влияние челове-

ского фактора. Принтеры имеют преимущества и в организации режима работы: устройство может функционировать ежедневно любое количество часов при обеспечении необходимых условий и обслуживания [6].

При рассмотрении последних научных исследований и изобретений в сфере 3D-принтеров для строительной сферы можно выделить следующие векторы развития:

- совершенствование устройства строительных принтеров и их элементов;
- разработка оптимальных составов смесей, применяемых в качестве «чернил» для принтеров;
- совершенствование технических методов устройства строительным принтером отдельных элементов или конструкций здания.

Для активного внедрения 3D-печати в массовое строительство, в том числе малоэтажное, важным фактором и условием является качество применяемых материалов и смесей и технологические схемы возводимого объекта [7].

На рис. 7–9 представлены основные достоинства применения строительных принтеров для возведения малоэтажных объектов по отдельным аспектам.

Также стоит отметить, что для многих 3D-принтеров характерны относительно небольшие габариты, что делает устройства достаточно компактными. Это облегчает процесс транспортировки и сборки устройства на строительной площадке.

При возведении здания с помощью принтера уменьшается количество строительных отходов в связи с тем, что смесь для возведения конструкций подается послойно, с высокой точностью [8–9].

Но данные устройства имеют также и недостатки, к которым относятся:

- отсутствие нормативной документации, регламентирующей работы по данной технологии;
- сложность при выборе материала для производства работ, необходимость использования специальных смесей;
- необходимость устройства защиты строительных принтеров от атмосферных осадков;

- высокая стоимость 3D-принтера и готовой смеси для него;
- ограниченная рабочая зона оборудования;
- отсутствие квалифицированных специалистов для подготовки устройства и его эксплуатации.

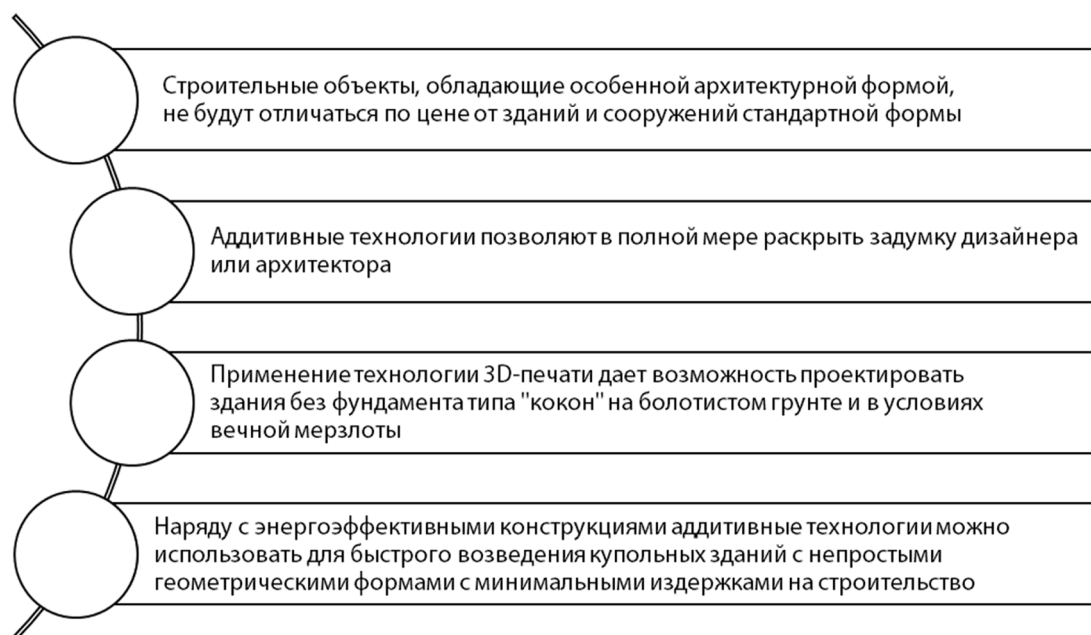


Рис. 7. Преимущества применения строительного принтера при реализации различных архитектурных решений

Fig. 7. The advantages of using the construction printer for the implementation of various architectural solutions

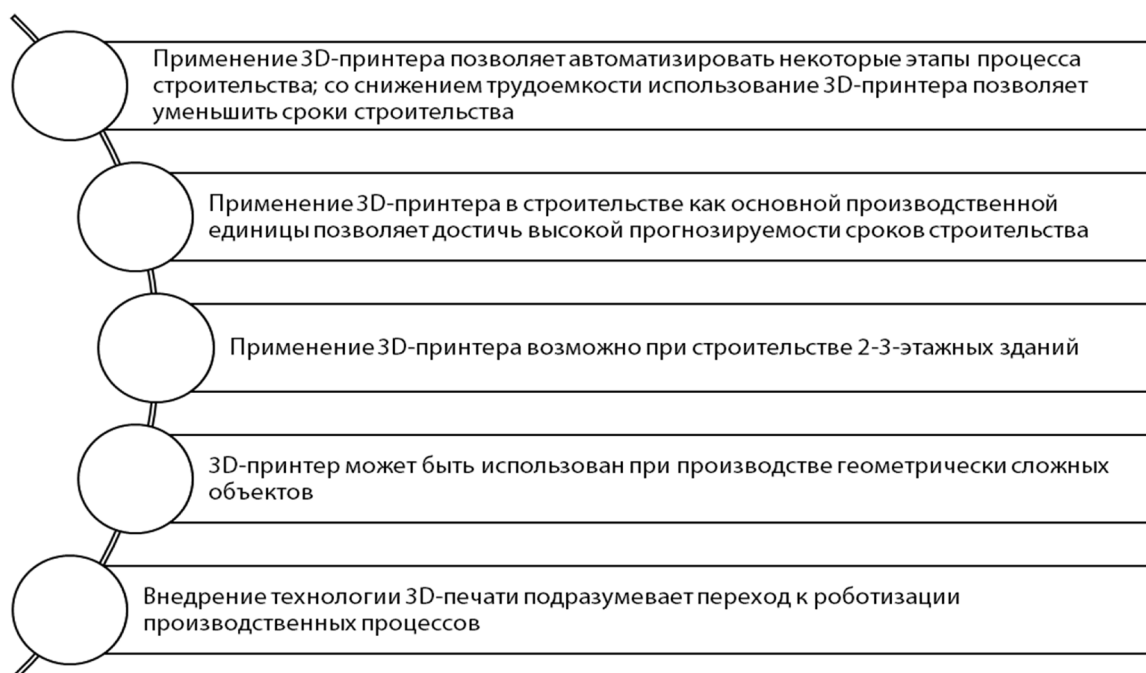


Рис. 8. Технологические преимущества применения строительного принтера

Fig. 8. Technological advantages of using the construction printer

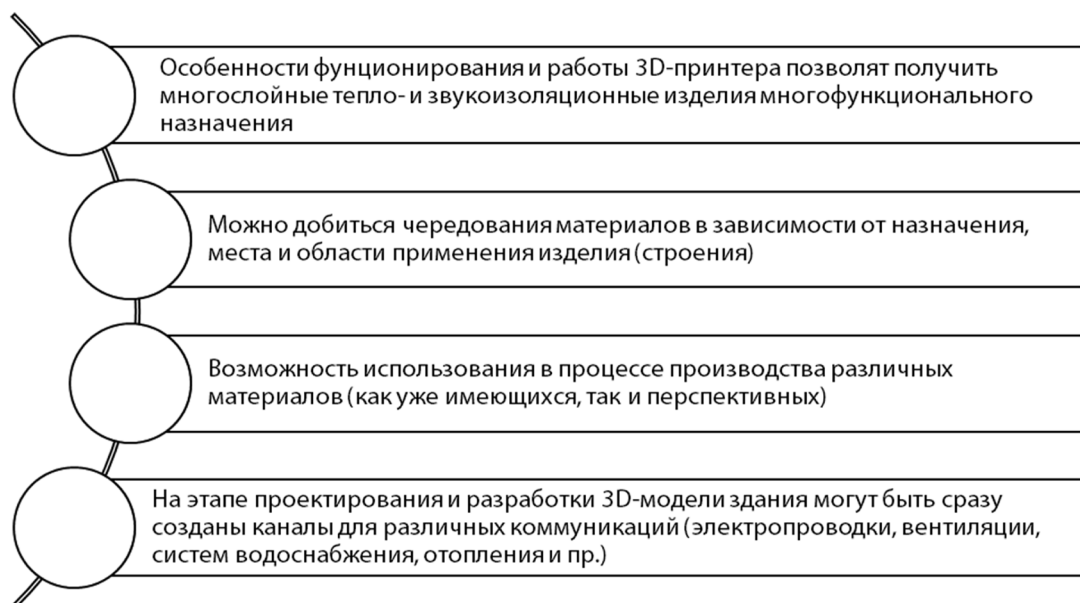


Рис. 9. Преимущества применения строительного принтера при выборе материалов
 Fig. 9. The advantages of using the construction printer for choosing the building materials

Выводы

Подводя итоги, хочется отметить, что основной задачей данной статьи являлось изучение устройств для строительной печати, обзор основных видов принтеров в зависимости от типа привода и их характеристик, изучение достоинств и недостатков при применении строительных принтеров в малоэтажном строительстве.

Сравнительный анализ российских и зарубежных предложений в данном сегменте показал, что произведенные в нашей стране 3D-принтеры «СПЕЦАВИА» (авторами рассмотрены две основные модели этого производителя) зарекомендовали себя как надежные, а главное – конкурентоспособные устройства, которые могут служить отличной альтернативой зарубежным аналогам.

Для внедрения в массовое строительство малоэтажных зданий аддитивных технологий, в частности строительных 3D-принтеров, необ-

ходимо уделить внимание развитию моделирования, разработке требований по применению данных устройств и контролю качества получаемой смеси. Реализация данных мероприятий послужит толчком к проведению более углубленных исследований и привлечению внимания к этой актуальной теме [10].

В целом необходимо отметить, что различные цифровые технологии являются наиболее эффективными способами для повышения рациональности работы и использования ресурсов в строительной сфере. Именно благодаря данным технологиям происходит автоматизация различных процессов и появляется возможность значительного удешевления строительства. Данное направление требует более глубокого и детального развития с целью создания инновационных технологий, позволяющих повысить эффективность на различных этапах строительства [11].

Библиографический список

1. Применение 3D-принтера для малоэтажного строительства. Преимущества и недостатки / С. Д. Козлов, В. Г. Коридзе, А. В. Бондарь, А. О. Чайковский. – DOI 10.5281/zenodo.579732. – Текст : непосредственный // Бюллетень науки и практики. – 2017. – № 5 (18). – С. 102–105.

2. Подбор составов смесей для 3D-печати / Б. А. Бондарев, В. А. Баязов, О. О. Корнеев [и др.]. – DOI 10.15862/29SAVN321. – Текст : электронный // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13, № 3. – URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN321.pdf> (дата обращения: 29.03.2023).
3. Шорстова, Е. С. Фибробетон для 3D-печати / Е. С. Шорстова, С. В. Ключев, А. В. Ключев. – DOI 10.34031/article_5ca1f6300a4956.62644399. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 3. – С. 22–27.
4. Патент № 2780512 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/04. Модифицированная бетонная смесь для экструзии на 3D-принтере : № 2021140041 : заявл. 30.12.2021 : опубл. 26.09.2022 / Р. Х. Мухаметрахимов, Л. В. Зиганшина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». – Текст : непосредственный.
5. Патент № 2777220 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/04. Бетонная смесь для экструзии на 3D-принтере : № 2021140039 : заявл. 30.12.2021 : опубл. 01.08.2022 / Р. Х. Мухаметрахимов, Л. В. Зиганшина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». – Текст : непосредственный.
6. Лунева, Д. А. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития / Д. А. Лунева, Е. О. Кожевникова, С. В. Калошина. – DOI 10.15593/2224-9826/2017.1.08. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 90–101.
7. Дребезгова, М. Ю. Современные аддитивные технологии в малоэтажном строительстве / М. Ю. Дребезгова. – DOI 10.12737/article_5926a0597879f0.60859363. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2017. – № 6. – С. 66–69.
8. Легезина, А. С. 3D-принтер в строительстве современного жилья / А. С. Легезина, Л. А. Пашкова // Вестник науки и творчества. – 2018. – № 11 (35). – С. 17–19.
9. Юсупходжаев, С. А. Преимущества использования 3D-принтеров в малоэтажном строительстве в Узбекистане / С. А. Юсупходжаев, Д. Нигматжонов, Р. Ю. Фунтикова. – DOI 10.32743/UniTech.2022.95.2.13099. – Текст : электронный // Universum: технические науки : электронный научный журнал. – 2022. – №2 (95). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13099> (дата обращения: 29.03.2023).
10. Леонова, А. Н. Инновационное строительство зданий и сооружений с помощью 3D-принтера / А. Н. Леонова, Т. К. Мегедь, М. Ю. Согонова. – Текст : непосредственный // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2018. – № 9. – С. 67–70.
11. Каширипур, М. М. Новые тенденции и инновации в строительстве: строительство с помощью 3D принтера / М. М. Каширипур, С. Б. Гарагозов. – Текст : непосредственный // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : Сборник материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й международной научно-технической конференции БНТУ «Наука - образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, Минск, 04–05 мая 2022 года. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 94–99.

References

1. Kozlov, S. D., Koridze, V. G., Bondar, A. V., & Tchaikovsky, A. O. (2017). Application of a 3D printer for low-rise construction. Advantages and disadvantages. Bulletin of science and practice, (5(18)), pp. 102-105. (In Russian). DOI 10.5281/zenodo.579732.

2. Bondarev, B. A., Bayazov, V. A., Korneev, O. O., Vostrikov, I. A., Meshcheryakov, A. A., & Korneeva, A. O. (2021). Selection of mixtures for 3D printing. The Eurasian Scientific Journal, 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/29SAVN321.pdf>. (In Russian). DOI 10.15862/29SAVN321.
3. Shorstova, E. S., Klyuev, S. V., & Klyuev, A. V. (2019). Ibr concrete for 3D-printing. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, (3), pp. 22-27. (In Russian). DOI 10.34031/article_5ca1f6300a4956.62644399.
4. Mukhametrakhimov, R. Kh., & Ziganshina, L. V. Modified concrete mixture for 3D printer extrusion. Patent na izobretenie 2780512 C1 SU, MPK C04B 28/04. № 2021140041. Applied: 30.12.2021. Published: 26.09.2022. (In Russian).
5. Mukhametrakhimov, R. Kh., & Ziganshina, L. V. Concrete mixture for extrusion on a 3D printer. Patent na izobretenie 2777220 C1 SU, MPK C04B 28/04. № 2021140039. Applied: 30.12.2021. Published: 01.08.2022. (In Russian).
6. Luneva, D. A., Kozhevnikova, E. O., & Kaloshina, S. V. (2017). Application of 3D printing in construction activities and its prospects. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura, 8(1), pp. 90-101. (In Russian). DOI 10.15593/2224-9826/2017.1.08.
7. Drebezgova, M. Yu. (2017). Sovremennye additivnye tekhnologii v maloetazhnom stroitel'stve. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, (6), pp. 66-69. (In Russian). DOI 10.12737/article_5926a0597879f0.60859363.
8. Legezina, A. S., & Pashkova, L. A. (2018). 3D-printer v stroitel'stve sovremennogo zhil'ya. Vestnik nauki i tvorchestva, (11(35)), pp. 17-19. (In Russian).
9. Yusuphodjaev, S. A., Nigmatjonov, D., & Funtikova, R. Yu. (2022). Benefits of using 3D printers in low-story construction in Uzbekistan. Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13099> (accessed 29.03.2023). (In Russian). DOI 10.32743/UniTech.2022.95.2.13099.
10. Leonova, A. N., Meged', T. K., & Sogonova, M. Yu. (2018). Innovatsionnoe stroitel'stvo zdaniy i sooruzheniy s pomoshch'yu 3D-printera. Stroitel'stvo: novye tekhnologii - novoe oborudovanie, (9), pp. 67-70. (In Russian).
11. Kashiripoor, M. M., & Garagozov, S. B. (2022). New trends and innovations in construction: building with a 3D printer. Inzhiniring i ekonomika: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya : Sbornik materialov studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii v ramkakh 20-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii BNTU "Nauka - obrazovaniyu, proizvodstvu i ekonomike" i 78-y studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii BNTU, May, 04-05. Minsk, Belarusian National Technical University Publ., pp. 94-99. (In Russian).

Сведения об авторах

Свинцов Евгений Викторович, студент строительного факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: perm28@mail.ru

Петренива Ольга Владимировна, старший преподаватель кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: petrenevao@mail.ru

Information about the authors

Evgeniy V. Svintsov, Student at the Department of Civil Engineering, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: perm28@mail.ru

Olga V. Petreneva, Senior Lecturer at the Department of Building Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: petrenevao@mail.ru

Получена 08 февраля 2023 г., одобрена 07 марта 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.

Received 08 February 2023, Approved 07 March 2023, Accepted for publication 13 June 2023