

Г.С. СЛАВЧЕВА^{1,✉}, С.Н. ЛАПЫРЕВ²

¹ Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, д. 84,
г. Воронеж, 394006, Российская Федерация

² Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона
и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ОЖИДАНИЯ И РЕАЛЬНОСТЬ

Аннотация

Введение. Строительные аддитивные технологии в настоящее время относятся к технологиям формирующихся рынков будущего, то есть технологические решения еще не сформированы, но потенциально способны обеспечить в перспективе значительный объем потребления.

Цель. На основе анализа 20-летнего периода развития науки и практики в области строительных аддитивных технологий выявить основные достижения и нерешенные проблемы, обозначить перспективы развития.

Потенциал аддитивных технологий в строительстве связан с возможностью создания строительных объектов бионического дизайна, который предполагает сочетание свободы внешней формы и организованного внутреннего пространства конструкций объекта, в котором масса материала располагается только по линиям действующих напряжений. Это может обеспечить радикальное снижение массы материала в объеме конструкции, изменить принципы проектирования и строительства.

Практика применения строительных аддитивных технологий в современном строительстве. На основе анализа типичных реализованных проектов показано, что к настоящему времени их внедрение ограничивается малоэтажным жилищным строительством, созданием объектов функционально-декоративного и специального назначения. В настоящее время роботизированный процесс 3D-печати используется только для возведения оболочки вертикальных конструкций строительных объектов, остальные конструкции данных объектов изготавливаются по традиционной технологии бетонного литья, что определяет их высокую стоимость.

Нерешенные проблемы и факторы, сдерживающие внедрение строительных аддитивных технологий, состоят в отсутствии методов проектирования, нор-

мативной базы, эффективных универсальных технологических комплексов, достаточной номенклатуры составов смесей для печати. Представлены подходы к решению данных проблем.

Перспективы развития. К рациональным направлениям внедрения строительных аддитивных технологий на текущем технологическом уровне отнесено следующее: возведение малых строительных объектов, особенно на территориях с суровыми климатическими условиями, где отсутствует развитая база строительной индустрии; внедрение строительных аддитивных технологий в индустриальное домостроение для отделки фасадов зданий; внедрение печати элементов декоративной инфраструктуры жилых комплексов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, строительство, архитектура, проектирование, нормирование, материалы для 3D-печати

Для цитирования: Славчева Г.С., Лапырев С.Н. Перспективы аддитивных технологий в строительстве: ожидания и реальность // Бетон и железобетон. 2024. № 5 (624). С. 53–60. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-5\(624\)-53-60](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-5(624)-53-60). EDN: KOBCF

Вклад авторов

Славчева Г.С. – концепция, анализ и систематизация данных, написание текста статьи.

Лапырев С.Н. – сбор, подготовка и обработка исходных данных.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.10.2024

Поступила после рецензирования 07.11.2024

Принята к публикации 14.11.2024

PROSPECTS OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: EXPECTATIONS AND REALITY

Abstract

Introduction. Additive technologies in construction are currently considered to be technologies for emerging future markets, i. e. technological solutions that have not yet been formed but are potentially capable of providing a significant volume of consumption in the future. The aim of this paper is to analyse the 20-year period of science and practice development in the field of additive technologies in construction, to identify the main achievements and unresolved problems, and to outline the prospects for development.

The potential of additive technologies in construction is associated with the possibility of creating bionic design of construction objects, which implies a combination of freeform and organised internal space of object structures, in which the mass of material is located only along the lines of load. This can lead to a radical reduction of material mass in the volume of the structure and change the principles of design and construction.

The practice of application of construction additive technologies in modern construction. On the basis of the analysis of typical implemented projects it is shown that its introduction so far is limited to low-rise housing construction, creation of objects of functional-decorative and special purpose. At present, the robotic process of 3D printing is used only for the construction of the shell of vertical structures of building objects; other structures of these objects are made by the traditional technology of concrete casting, which determines their high cost.

Unresolved problems and factors hindering the introduction of construction additive technologies consist in the lack of design methods, regulatory framework, effective universal technological complexes, sufficient nomenclature

of mixtures for printing. Approaches to solving these problems are presented.

Development prospects. The rational directions of introduction of building additive technologies at the present technological level are: construction of small building objects, especially in territories with severe climatic conditions, where there is no developed base of building industry; introduction of building additive technologies in industrial house-building for finishing of building facades and printing of elements of decorative infrastructure of residential complexes.

Keywords: additive technologies, construction, architecture, design, standardization, 3D printable materials

For citation: Slavcheva G.S., Lapyrev S.N. Prospects of additive technologies in construction: expectations and reality. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 5 (624), pp. 53–60. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-5\(624\)-53-60](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-5(624)-53-60). EDN: KOBCF

Authors contribution statement

Slavcheva G.S. – concept, data analysis and systematization, writing the text of the article.

Lapyrev S.N. – collection, preparation and processing of initial data.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 03.10.2024

Revised 07.11.2024

Accepted 14.11.2024

Введение

Согласно постановлению Правительства РФ от 14.07.2021 г. об утверждении «Стратегии развития аддитивных технологий в РФ на период до 2030 г.» [1], строительные аддитивные технологии (АТ) квалифицированы как технологии для рынков будущего, то есть технологические решения еще не сформированы, но потенциально способны обеспечить значительный объем потребления в перспективе. Строительные АТ (3D-печать) – это разновидность аддитивного производства, определяемая в ПНСТ 495-2020 [2] как «процесс возведения конструкций зданий и сооружений, основанный на создании объекта строительства по электронной геометрической модели путем добавления материала для аддитивного строительного производства, как правило, слой за слоем».

Жизненный цикл 3D-печати включает стадии, аналогичные стадиям жизненного цикла традиционного строительства:

- проектирование строительных объектов в зависимости от назначения;
- технологический процесс строительства;
- эксплуатация строительных объектов в различных условиях.

Принципиальные отличия от традиционных имеют проектная и технологическая стадии, которые включают создание цифровой 3D-модели строительного объекта, «разрезание» ее на 2D-слои с использованием соответствующего программного обеспечения, программирование работы исполнительного механизма для последовательного нанесения слоев материала при роботизированном возведении строительного объекта в соответствии с его 3D-моделью. Потенциал и условия реализации аддитивных технологий в строительстве делятся на следующие составляющие [3–5]:

– архитектура и проектирование объектов применительно к возможностям и особенностям данной технологии;

– создание оборудования и технологических комплексов;

– создание материалов, адаптированных к технологическим условиям печати и эксплуатации в тонких слоистых 3D-печатных конструкциях.

Период развития науки и практики в области строительных АТ составляет уже более 20 лет, поэтому настало время подвести некоторые итоги и попытаться оценить достижения и проблемы.

Потенциал аддитивных технологий в строительстве

В начале становления данных технологий позиционировались их новые возможности, которые трудно реализовать традиционными строительными методами:

– архитектура и проектирование: свобода формы конструкций и зданий, создание изогнутых элементов любой конфигурации, создание пустотелых конструкций заданной внутренней структуры;

– оборудование и технологические комплексы: автоматизация и роботизация строительных процессов, отказ от опалубки и форм, сокращение затрат энергии, труда, сроков строительства;

– материалы: изготовление на одном и том же оборудовании различной их номенклатуры непосредственно на стройплощадке, использование широкого спектра сырьевых материалов.

Предполагалось, что развитие и внедрение аддитивных технологий принципиально изменят архитектурный облик зданий, типологию конструкций, позволят роботизировать все строительные процессы, включая отделочные работы и установку инженерных систем (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Возможности аддитивных технологий в строительстве (по материалам семинара «Freeform Construction», Великобритания, Loughborough University, 29.07.2005) [6]
The possibilities of additive technologies in construction (based on the materials of the Freeform Construction seminar, Great Britain, Loughborough University, 07.29.2005) [6]

Элемент архитектурно-строительной системы		Возможности 3D-аддитивных технологий
Проектирование		Индивидуальный эргономичный дизайн (нет более прямых линий и углов!)
Несущие и ограждающие конструкции	структура	Свободное создание внутренней структуры в объеме конструкции
	форма	Свобода формы (создание изогнутых элементов любой конфигурации)
Отделка		Совмещение процесса возведения здания и его отделки, роботизация процесса отделки, вариативность дизайна и повышение точности контроля качества отделки
Системы остекления		Структурные системы остекления
Инженерные системы		Совмещение процесса возведения здания и прокладки инженерных сетей, уменьшение количества соединительных элементов

Таким образом, на начальном этапе становления строительных АТ существовало представление, что данные технологии совершат переворот в строительстве за счет существенного снижения стоимости строительных объектов путем роботизации и, как результат, сокращения сроков строительства, снижения материалоемкости и трудозатрат.

Практика применения строительных АТ в современном строительстве

Реализация аддитивных технологий к настоящему времени ограничивается малоэтажным жилищным строительством, созданием объектов функционально-декоративного и специального назначений.

Типичным является возведение одноэтажных жилых домов по индивидуальным проектам и массовой застройки площадью 40–200 м² непосредственно на строительной площадке. Наиболее значимые проекты печати домов реализованы компаниями ICON (США) [7], Contour Crafting (США) [8], Andrei Rudenko (США) [9], «АМТ-Спецавиа» [10], «ЗД СТРОЙ» (Россия) [11], WinSun (Китай) [12].

По данным компаний, по сравнению с традиционным способом строительства снижение себестоимости 1 м² жилья составило 25–30 %, экономия материалов – 20–60 %, экономия трудозатрат – 45–55 %, за счет роботизации строительных процессов уменьшение веса конструкций – 30–50 %. Однако на сайтах компаний указанные данные представлены без базы для сравнения. Одновременно умалчивается, что в настоящее время роботизированный процесс 3D-печати возможно использовать только для возведения оболочки вертикальных конструкций строительных объектов (стен, колонн). За исключением стен и колонн, остальные конструкции данных объектов (перекрытия, балки, лестницы и т. д.) изготавливаются по традиционной технологии бетонного литья.

Типичными 3D-печатными объектами функционально-декоративного назначения являются элементы городской инфраструктуры, а также элементы декора фасадов. Их производство реализовано как в построечных, так и в производственных условиях. В построечных условиях реализована печать павильонов, садово-парковых объектов, малых архитектурных форм компаниями Branch Technology [13] (США), Contour Crafting (США) [8] и др.

В производственных условиях 3D-печать довольно массово используется для создания малых архитектурных форм (скамеек, вазонов, других арт-объектов благоустройства), а также элементов декора фасадов. Наиболее интересными являются проекты компаний WinSun (Китай) [12], Bruil (Нидерланды) [14]. Данные компании разработали и производят фасадные панели ограждения балконов, отличающиеся оригинальным бионическим дизайном.

Главным преимуществом использования строительных АТ для создания объектов функционально-де-

коративного назначения является уникальность дизайна каждого изделия или строительного объекта. При этом очевидно, что, в отличие от традиционной технологии бетонного литья, при 3D-печати нет необходимости в формах и опалубке, отсюда неограниченность номенклатуры декоративных объектов и изделий. Их можно изготавливать в соответствии с запросами клиента без дополнительных затрат на переналадку линии, без затрат на содержание парка форм. Одновременно возможность печати пустотелых конструкций существенно снижает материалоемкость изделий и конструкций по сравнению с аналогичными полнотелыми конструкциями, изготовленными традиционным бетонным литьем. При толщине печатного слоя 3–5 см объем бетона составляет не более 20 % от геометрического объема изделий.

Применительно к задачам специального строительства реализованы отдельные пилотные проекты.

Компания CyBe (Нидерланды) реализовала проекты изготовления канализационных люков индивидуального дизайна, элементов искусственных пустотелых рифов [15]. Компанией Andrei Rudenko (США) прорабатывается проект возведения башен для солнечных и ветровых энергетических установок в построечных условиях, изготовления элементов тяговых градилен, ветряных турбин [9]. Компания XtreeE (Франция) специализируется на цеховой печати изделий и конструкций [16]. Реализованы проекты печати элементов мостового настила, колец туннеля с последующей сборкой их на строительной площадке, напечатано 37 элементов искусственных рифов. Компания WASP (Италия) специализируется на печати в построечных условиях купольных объектов площадью 50–100 м², которые могут блокироваться друг с другом. Напечатанные ограждающие конструкции являются пустотелыми, при возведении объектов используются местные глиняные грунты, что приводит к существенной экономии затрат на материалы [17]. Компания ICON (США) реализовала проекты печати объектов военного назначения, казарм, учебных тренировочных центров [7].

Для перечисленных проектов в качестве главных преимуществ использования строительных АТ, по сравнению с традиционными способами строительства, компании выдвигают высокую скорость возведения объектов, их модульность, пустотелость конструкций, возможность использования местных сырьевых материалов.

Таким образом, можно констатировать, что за 20-летний период существования аддитивные строительные технологии нашли ограниченное применение в практике строительства, реализованы отдельные пилотные проекты в обозначенных сферах применения.

Нерешенные проблемы и факторы, сдерживающие внедрение строительных АТ

Архитектура и проектирование. Существующие и нормированные методы расчета и проектирова-

ния предназначены для полнотелых конструкций традиционных зданий, сооружений. В традиционных нормированных методах расчета строительных конструкций (СП 63.13330.2018 [18]) по предельным состояниям первой и второй групп конструкция рассматривается как полнотелая, в расчет включается все сечение конструкции. Методы расчета и проектирования пустотелых 3D-печатных конструкций отсутствуют. Именно отсутствие данных методов и соответствующих строительных норм является одним из главных факторов, сдерживающих массовое применение строительных АТ.

Дополнительным фактором сдерживания является противоречие между сложившимися потребительскими стереотипами об облике зданий и зданиями бионического дизайна (свободной формы, без прямых углов и линий), которые потенциально возможно возводить с использованием АТ. Достаточно сложно определить и предсказать потребность рынка в строительных объектах нетрадиционной бионической типологии.

Оборудование, технологические процессы. Существующие технологические комплексы не могут обеспечить возведение на одном и том же оборудовании строительных объектов и конструкций из широкой гаммы материалов. 3D-печать в строительных объектах используется только для возведения оболочки вертикальных конструкций, преимущественно стен, армирование и отделка которых осуществляется традиционным ручным способом.

Низкая эффективность технологических комплексов обусловлена:

- отсутствием серийно производимых смесителей, обеспечивающих получение высоковязкой, однородной смеси (используются типовые смесители для подвижных бетонов и растворов);
- отсутствием систем эффективной перекачки высоковязкой смеси (используются типовые насосы для подвижных бетонов и растворов);
- не предусмотрена возможность переналадки и доукомплектования различными исполнительными механизмами, например для финишной отделки, печати различными смесями.

Не решена проблема армирования. Реальные реализованные проекты строительства с использованием АТ армировались вручную. Имеющиеся пилотные проекты создания роботов-арматурщиков предусматривают, что в процессе печати потребуются две разные установки: одна для печати арматуры или для вставки арматурных элементов в экструдированный слой, а другая непосредственно для печати бетона, что значительно увеличит стоимость комплексов для печати и эксплуатационные расходы. В настоящее время роботы-арматурщики для строительных АТ созданы в исследовательской лаборатории Gramazio Kohler Research (Швейцария), их применение находится на стадии пилотной реализации [19].

Проблемой масштабирования технологии также является высокая цена крупноформатных принтеров, их низкая мобильность, большие затраты на их монтаж, эксплуатацию и обслуживание.

Материалы. Несмотря на то что это наиболее исследованный компонент строительных АТ, не решены следующие проблемы:

- Используются мелкозернистые и микрозернистые смеси с высоким расходом вяжущего. Это увеличивает стоимость материала, увеличивает вероятность усадки и растрескивания строительных конструкций.
- Не решены вопросы физико-климатической стойкости, долговечности строительных 3D-печатных объектов. В тонких слоях напечатанных конструкций деградация в результате силовых и физико-климатических воздействий может протекать иначе, чем в традиционных полнотелых массивных конструкциях. Кроме того, особенности послойного формирования структуры 3D-печатных объектов могут приводить к возникновению межслойных эффектов, существенно влияющих на их механическое поведение, физико-климатическую стойкость и долговечность.

Несовершенство нормативной базы. Как указывалось выше, главной проблемой, сдерживающей расширение применения строительных АТ, является отсутствие принципиально новых способов и, соответственно, норм проектирования пустотелых конструкций с учетом их слоистости. Решение данной проблемы необходимо, чтобы перейти от традиционных полнотелых армированных строительных конструкций к пустотелым конструкциям, в которых материал будет располагаться только по линиям действующих напряжений, а его объем будет составлять не более 10–20 % от объема конструкции.

Одновременно отсутствуют единые нормативные требования к свойствам смесей и композитов в жизненном цикле 3D-печати, методам их испытаний, которые учитывали бы особенности технологического процесса и структуры слоистых материалов. Существующие ГОСТы на методы испытаний всех свойств бетонов основаны на применении в испытаниях монолитных образцов. Слоистые 3D-печатные композиты имеют существенную анизотропию свойств вдоль и поперек слоев. Поэтому эксплуатационное поведение печатных композитов может существенно отличаться от такого поведения традиционных бетонов монолитной структуры. Это необходимо учитывать и нормировать для проведения испытаний. Также слоистость структуры и анизотропию свойств принципиально важно учесть при определении параметрических рядов и нормировании расчетных характеристик, используемых при проектировании конструкций.

Отсутствуют нормированные методы технологического контроля и управления качеством, учитывающие особенности строительных АТ. Они должны быть разработаны, чтобы обеспечить стабильные

и надежные свойства печатных элементов, необходима их совместимость с существующими строительными нормами.

Таким образом, пока еще не существует единой оптимальной системы, регулирующей весь жизненный цикл строительных АТ «проектирование – производство – эксплуатация». Вместо этого в каждом конкретном случае используется набор решений, каждое из которых обусловлено типом и размером строительного объекта, местом применения (строительная площадка или заводские условия). В результате, несмотря на популистские утверждения компаний, работающих в области строительных АТ, качество и долговечность 3D-печатных объектов уступают объектам, возводимым по традиционным строительным технологиям при сопоставимой стоимости, затратах труда и времени.

Результатом является отсутствие интереса у крупных промышленных застройщиков к данной технологии. Одновременно и крупные машиностроительные компании не заинтересованы вкладывать интеллектуальные и материальные ресурсы в разработку технологических комплексов для печати из-за низкой емкости рынка.

Пути решения проблем и перспективы

На текущем уровне развития и технологических возможностей эффективным может быть использование АТ для малых строительных объектов, где не требуется значительное армирование и одновременно могут быть необходимы сложная геометрия и пустотелость. К таким объектам относятся:

- одноэтажные здания площадью до 100 м² купольного типа;
- элементы обустройства (стойки, элементы резервуаров и тоннелей, подпорные стены);
- элементы гражданской декоративной инфраструктуры (малые архитектурные формы, ограждения и т. д.);
- элементы декора фасадов зданий.

Строительные АТ могут быть эффективными для применения на территориях с суровыми климатическими условиями, а также там, где отсутствует развитая база строительной индустрии и имеется запрос на гибкие, мобильные, роботизированные «безлюдные» технологии.

При этом важно подчеркнуть, что имеется возможность внедрения строительных АТ в промышленное домостроение для отделки фасадов зданий и печати элементов декоративной инфраструктуры жилых комплексов. Для этого не требуется существенная переналадка технологических линий, возможно использование действующих смесительных узлов и линий доставки смесей. Необходима только организация поста 3D-печати для отделки фасадов и (или) печати малых архитектурных форм. При этом можно реализовать индивидуальные проекты комплексного

дизайна каждого жилого комплекса без дополнительных затрат.

Для расширения технологических возможностей и области применения строительных АТ на практике нуждаются в проработке и последующем нормировании следующие группы первоочередных вопросов:

– *Разработка новых методов расчета и проектирования* бионических пустотелых 3D-печатных конструкций с заданной несущей способностью. Если будет решен данный принципиальный вопрос, то в долгосрочной перспективе возможно использование АТ для создания всех конструкций зданий и сооружений со значительным снижением их массы.

– *Совершенствование нормативной базы.* Определение требований и нормирование технологических характеристик смесей для 3D-печати, процедур контроля их приготовления, методов испытаний и контроля их качества. Определение требований и нормирование к методам испытаний физико-механических и деформативных свойств слоистых 3D-печатных композитов. Определение требований и нормирование комплекса расчетных характеристик 3D-печатных композитов.

– *Разработка технологических комплексов* для 3D-печати, отвечающих требованиям:

- универсальности, то есть печати широкой номенклатуры конструкций из различных смесей;
- открытой архитектуры, то есть возможности переналадки и доукомплектования;
- мобильности.

Таким образом, для реализации обозначенного 20 лет назад потенциала строительных аддитивных технологий нужна системная целенаправленная работа и взаимодействие проектировщиков, строителей, материаловедов-технологов, машиностроителей. Только на этой основе достижимо расширение технологических возможностей и области применения АТ, повышение качества печатных объектов, снижение их стоимости.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ об утверждении «Стратегии развития аддитивных технологий в РФ на период до 2030 г.» от 14 июля 2021 г. № 1913-р.
2. ПНСТ 495-2020. Строительные работы и типовые технологические процессы. Аддитивные технологии. Применение трехмерной печати (3D-ПЕЧАТЬ) в строительстве. Общие требования. Москва: Стандартинформ, 2009.
3. Славчева Г.С. Строительная 3D-печать сегодня: потенциал, проблемы и перспективы практической реализации // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-28-36>
4. Yi Wei Daniel Tay, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Nisar Ahamed NoorMohamed, Ming Jen Tan, Kah Fai Leong. 3D printing trends in building and

- construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping*. 2017, no. 12 (3), pp. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>
5. Boss F., Wolfs R., Ahmed Z., Salet T. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*. 2016, no. 11 (3), pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
 6. Buswell R.A., Soar R., Gibb A., Thorpe A. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. *Automation in Construction*. 2007, no. 16 (2), pp. 224–231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.05.002>
 7. “ICON”: сайт. URL: <https://www.iconbuild.com/projects> (дата обращения: 01.10.2024).
 8. “Contour Crafting Corporation”: сайт. URL: <https://www.contourcrafting.com/building-construction> (дата обращения: 01.10.2024).
 9. “TOTAL KUSTOM”: сайт. URL: <http://www.totalkustom.com> (дата обращения: 01.10.2024).
 10. Группа компаний «АМТ»: сайт. URL: <http://www.specavia.pro> (дата обращения: 01.10.2024).
 11. «3Д СТРОЙ»: сайт. URL: <https://3dconstruction.ru> (дата обращения: 01.10.2024).
 12. “WinSun”: сайт. URL: <http://www.yhbm.com> (дата обращения: 01.10.2024).
 13. “Branch Technology”: сайт. URL: <https://branchtechnology.com/projects/> (дата обращения: 01.10.2024).
 14. “Bruil”: сайт. URL: <http://www.bruil.nl> (дата обращения: 01.10.2024).
 15. “CyBe Construction”: сайт. URL: <http://www.cybe.eu> (дата обращения: 01.10.2024).
 16. “XtreeE@”: сайт. URL: <http://www.xtreee.com> (дата обращения: 01.10.2024).
 17. “WASP”: сайт. URL: <http://www.wasproject.it> (дата обращения: 01.10.2024).
 18. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стандартинформ, 2020.
 19. “Gramazio Kohler Research”: сайт. URL: <http://www.gramaziokohler.arch> (дата обращения: 01.10.2024).
 - 2021, no. 5, pp. 28–36. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-28-36>
 4. Yi Wei Daniel Tay, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Nisar Ahamed NoorMohamed, Ming Jen Tan, Kah Fai Leong. 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping*. 2017, no. 12 (3), pp. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>
 5. Boss F., Wolfs R., Ahmed Z., Salet T. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*. 2016, no. 11 (3), pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
 6. Buswell R.A., Soar R., Gibb A., Thorpe A. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. *Automation in Construction*. 2007, no. 16 (2), pp. 224–231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.05.002>
 7. “ICON”: website. URL: <https://www.iconbuild.com/projects> (accessed: 01 October 2024).
 8. “Contour Crafting Corporation”: website. URL: <https://www.contourcrafting.com/building-construction> (accessed: 01 October 2024).
 9. “TOTAL KUSTOM”: website. URL: <http://www.totalkustom.com> (accessed: 01 October 2024).
 10. AMT Group of Companies: website. URL: <http://www.specavia.pro> (accessed: 01 October 2024).
 11. “3D SYSTEM”: website. URL: <https://3dconstruction.ru> (accessed: 01 October 2024).
 12. “WinSun”: website. URL: <http://www.yhbm.com> (accessed: 01 October 2024).
 13. “Branch Technology”: website. URL: <https://branchtechnology.com/projects/> (accessed: 01 October 2024).
 14. “Bruil”: website. URL: <http://www.bruil.nl> (accessed: 01 October 2024).
 15. “CyBe Construction”: website. URL: <http://www.cybe.eu> (accessed: 01 October 2024).
 16. “XtreeE@”: website. URL: <http://www.xtreee.com> (accessed: 01 October 2024).
 17. “WASP”: website. URL: <http://www.wasproject.it> (accessed: 01 October 2024).
 18. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).
 19. “Gramazio Kohler Research”: website. URL: <http://www.gramaziokohler.arch> (accessed: 01 October 2024).

References

1. Order of the Government of the Russian Federation on the approval of the “Strategy for the development of additive technologies in the Russian Federation for the period up to 2030” dated July 07, 2021 No. 1913-r. (In Russian).
2. PNSt 495-2020. Construction works and typical technological processes. Additive technologies. The use of three-dimensional printing (3D PRINTING) in construction. General requirements. Moscow: Standartinform Publ., 2009. (In Russian).
3. Slavcheva G.S. 3D-build printing today: potential, challenges and prospects for implementation. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*.

Информация об авторах / Information about the authors

Галина Станиславовна Славчева[✉], д-р техн. наук, профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Воронежский государственный технический университет, Воронеж
e-mail: gslavcheva@yandex.ru
тел.: +7 (960) 132-94-75

Galina S. Slavcheva✉, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Technology of Building Materials, Products and Structure, Voronezh State Technical University, Voronezh
e-mail: gslavcheva@yandex.ru
tel.: +7 (960) 132-94-75

Сергей Николаевич Лапырев, руководитель направления индустриальных технологий, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lapirev@gmail.com
тел.: +7 (495) 777-88-55

Sergey N. Lapyrev, Head of the Industrial Technology Department, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lapirev@gmail.com
tel.: +7 (495) 777-88-55

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author