

УДК 624.05

## ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ПОСРЕДСТВОМ 3D-ПЕЧАТИ

**Е.Э. Саркисова**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** На современном этапе развития технологий и средств информатизации строительная отрасль претерпевает изменения, касающиеся инновационных подходов и решений в своей деятельности. В рамках проблематики исследования, связанной с повышением эффективности строительной отрасли, необходимым условием является использование инструментов цифровизации. В качестве такого инструмента выступает 3D-печать. Как известно, строительство объектов, независимо от их вида и значения, является долгим процессом,отягощенным различными факторами и обстоятельствами. Высокие затраты на возведение объектов, воздействие на окружающую среду – все это обуславливает пересмотр традиционных подходов к строительству. В этом контексте 3D-печать рассматривается как инновационное решение с большим спектром возможностей для оптимизации процессов. В исследовании проведен сравнительный анализ параметров строительства с использованием технологии 3D-печати и традиционных методов. Установлено, что 3D-печать позволяет снизить затраты на материалы и время возведения объектов, а также уменьшить экологический след. Рассмотрены основные способы применения технологии, включая создание строительных блоков и возведение зданий высотой до пяти этажей. В работе выделены существующие ограничения, такие как высокая стоимость оборудования и узкий выбор строительных материалов, и предложены пути их преодоления. Результаты исследования подтверждают эффективность 3D-печати как альтернативного метода строительства, способного оптимизировать процессы, снизить затраты и ускорить сроки реализации проектов.

**Ключевые слова:** 3D-строительство, 3D-печать, быстрое прототипирование, 3D-принтер, строительные 3D-принтеры, аддитивное производство, инновационные технологии.

**Ссылка для цитирования:** Саркисова Е.Э. Трансформация строительной отрасли посредством 3D-печати // Инженерные исследования. 2024. №5(20). С. 42-50. EDN: AZFHCU

## TRANSFORMATION OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY THROUGH 3D PRINTING

**E.E. Sarkisova**

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** At the present stage of development of technologies and means of informatization, the construction industry is undergoing changes regarding innovative approaches and solutions in its activities. Within the framework of the research issues related to improving the efficiency of the construction industry, the use of digitalization tools is a prerequisite. 3D printing acts as such a tool. As you know, the construction of facilities, regardless of their type and significance, is a long process, burdened by various factors and circumstances. High costs for the construction of facilities, environmental impact – all this leads to a revision of traditional approaches to construction. In this context, 3D printing is seen as an innovative solution with a wide range of possibilities for process optimization. The study conducted a comparative analysis of the construction parameters using 3D printing technology and traditional methods. It has been established that 3D printing can reduce the cost of materials and the time of construction of facilities, as well as reduce the environmental footprint. The main ways of applying the technology are considered, including the creation of building blocks and the construction of buildings up to five floors high. The paper highlights the existing limitations, such as the high cost of equipment and a narrow choice of building materials, and suggests ways to overcome them. The results of the study confirm the effectiveness of 3D printing as an alternative construction method capable of optimizing processes, reducing costs and speeding up project deadlines.

**Keywords:** 3D construction, 3D printing, rapid prototyping, 3D printer, construction 3D printers, additive manufacturing, innovative technologies.

**For citation:** Sarkisova E.E. Transformation of the construction industry through 3D printing // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2024. No.5(20). Pp. 42-50. EDN: AZFHCU

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема исследования связана с тем, что трансформация строительной отрасли нуждается в серьезных подходах и методах работы. Но несмотря на преимущества 3D-печати, все же есть ряд сложностей, мешающих использовать эту технологию наиболее эффективным образом.

Научная новизна исследования состоит в том, что уточнены и рассмотрены новые возможности 3D-печати в рамках происходящих трансформационных процессов, изучены проблемы строительной отрасли на текущем этапе и предложены пути решения. В работе проведен сравнительный анализ основных параметров и критериев в строительстве на основе использования 3D-печати и традиционных методов, что позволяет сделать вывод об эффективности инновационных решений.

Результаты работы могут быть использованы специалистами для принятия решений в области строительства различных зданий, домов, конструкций.

Цель исследования состоит в том, чтобы изучить особенности трансформации строительной отрасли посредством 3D-печати и сравнить ее эффективность с традиционным способом.

Определив цель, стоит выделить такие задачи, как изучение специфики 3D-печати, ее возможностей в строительстве, ее влияние на эффективные решения в изучаемой сфере.

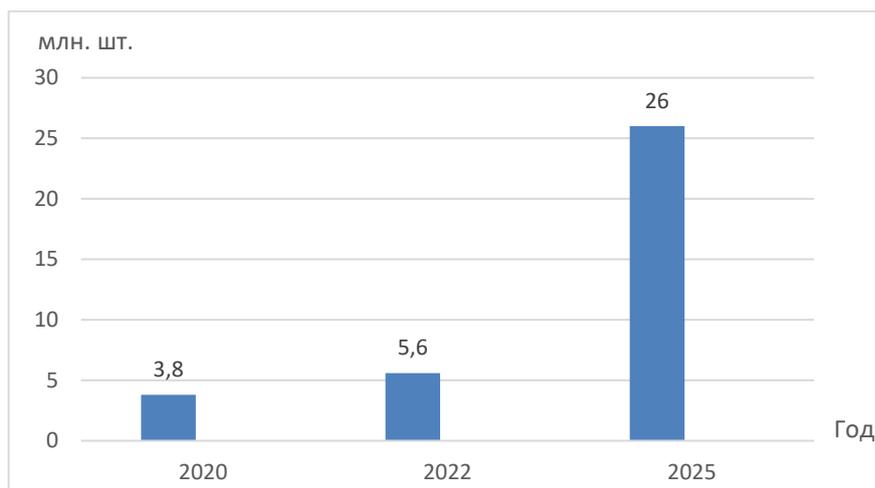
В экономике страны строительная отрасль является одной из лидирующих сфер деятельности по значимости и по объему вклада в развитие. Сейчас сфера строительства высоких зданий и объектов находится на этапе серьезной трансформации с точки зрения обновления технологий и подходов. Одновременно с этим разработка новаторских решений в данной сфере, особенно при возведении частных домов, практически стоит на месте, не показывая значительного прогресса на протяжении последних нескольких лет. Несмотря на то, что развиваются технологии и происходят изменения в смежных отраслях, на участках, где продолжают возводиться дома, все еще отсутствует четкая механизация процесса и преобладает ручной труд [1]. Стоит сказать, что пандемийный 2020 год также негативно сказался на сфере строительства, вызвав неожиданный скачок цен на важнейшие строительные материалы, включая металл, цемент и дерево.

Так как сейчас происходит динамичная трансформация в строительной сфере, то в рамках цифровизация в последние годы и в настоящее время началась стадия активного развития данного сектора. Эта трансформация затрагивает не только технологии, но и культуру, методы работы в строительной отрасли [2]. Она охватывает такие области, как проектирование, строительство, эксплуатация и управление зданиями и сооружениями [3].

Поэтому в условиях текущих вызовов технология 3D-печати стала примером адаптивного современного метода в строительстве, подразумевая при этом возведение объектов за счет наложения материала слой за слоем. Получаемые именно таким образом модели объектов можно использовать на различных этапах строительства, начиная с разработки прототипов для дальнейшего тестирования и заканчивая выпуском конечных продуктов [4].

Стоит сказать, что сейчас в строительстве применяется преимущественно три способа 3D-печати. Одним из методов является способ селективного спекания. Он подразумевает применение 3D-принтеров, которые с помощью лазера или солнечной энергии способны расплавить рабочий материал, такой как обычный песок [1].

Согласно оценке и прогнозу экспертов использование 3D -печати имеет активную тенденцию к росту. Об этом свидетельствуют следующие данные: в 2020 году рынок насчитывал продажи порядка 3.8 миллионов устройств, а по прогнозу на 2025 год данная отметка достигнет показателя в 26 миллионов единиц. Такой показатель отражает широкое распространение и интеграцию технологии 3D-печати в различные области деятельности, подтверждая ее нарастающую популярность и востребованность (рис.1).

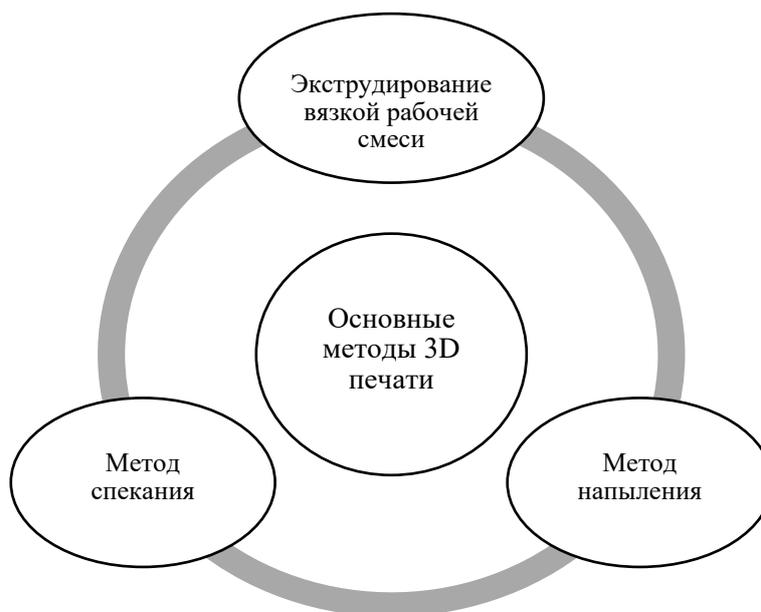


**Рис. 1.** Рост продаж 3D-принтеров [5]  
**Fig. 1.** Sales growth of 3D printers

Создателем 3D - принтера является Маркус Кайзер, инженер и учащийся в Королевском колледже искусств [2]. Это устройство оснащено солнечным резаком с кулачковым управлением, которое позволяет выполнить как горизонтальные, так и круговые сечения материала, регулируя путь его резки. Для перемещения обрабатываемого материала используется отдельный механизм с малогабаритным мотором, влияющим на работу зубчатого ремня, который, в свою очередь, управляет распределительным валом [6]. Кроме того, в последние годы технологии 3D-печати активно развиваются в различных направлениях. Например:

1. FDM (Fused Deposition Modeling) — метод послойной печати расплавленным термопластиком, который стал основой для большинства бытовых и профессиональных принтеров [7].
2. SLS (Selective Laser Sintering) — метод селективного лазерного спекания порошков для создания сложных конструкций из металла и пластика [8].
3. Bioprinting — печать биоматериалов для создания тканей, органов и прототипов для медицины.

Далее на рис. 2 представлены способы 3D-печати [9].



**Рис. 2.** Основные методы 3D-печати, используемые при строительстве<sup>1</sup>  
**Fig. 2.** The main 3D printing methods used in construction

<sup>1</sup> История 3D-печати [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/istorija-3d-pechati> (дата обращения: 19.10.2024)

Все эти три способа 3D-печати существенно позволяют сократить скорость выполнения работ. Этот важный фактор является необходимым условием в рамках трансформационных процессов строительной отрасли [10].

Если рассматривать такой аспект, как финансовые затраты, то в этом случае 3D-печать позволяет повысить производительность строительных работ при возведении домов [11]. За счет автоматизации процессов используется меньше наемного ручного труда, что дает возможность снизить затраты на заработную плату.

Далее в табл.1 можно увидеть сравнение данных показателей с традиционным методом.

**Таблица 1.** Сравнение уровня финансовых затрат при 3D-печати с традиционным методом [12]

**Table 1.** Comparison of the level of financial costs in 3D printing with the traditional method

№	Название критерия для сравнения	3D-печать	Традиционный метод
1	Стоимость материалов	20-30 тыс.руб. за кв. м	30-50 тыс. руб. за кв.м
2	Трудозатраты, численность работников	2-3 человека	От 10 до 20 рабочих
3	Сроки выполнения работ	1-3 месяца	6-12 месяцев
4	Общий размер затрат на проект	2-4 млн. руб.	5-10 млн. руб.

Примечание: Данные актуальны на 2024 год.

Итак, на основании данных табл.1, актуальных на декабрь 2024 г., можно сказать, что общие финансовые затраты при использовании технологии 3D-печать значительно ниже, чем в традиционном варианте строительства. Кроме этого, 3D-печать позволяет сократить время выполнения проекта за счет того, что сам процесс печати может длиться всего от 24 до 48 часов, в то время как традиционные методы требуют недель или месяцев [13].

Преимущества использования 3D-печати в строительстве:

1. Экономия материалов. Использование технологии 3D-печати позволяет сократить потребление строительных материалов, таких как цемент, за счет более точного дозирования и минимизации отходов [14].

2. Сокращение необходимости в опалубке. 3D-печатные стены используются как постоянная форма, что снижает затраты на изготовление и демонтаж классической опалубки [15].

3. Экологическая устойчивость. Меньший объем строительного мусора положительно сказывается на экологии и снижает расходы на его утилизацию [16].

4. Компактность стройплощадки. Для хранения материалов и оборудования требуется меньше места, что делает процесс более организованным и менее затратным в логистике [17].

5. Гибкость дизайна. 3D-принтеры позволяют создавать сложные архитектурные формы, которые сложно реализовать с использованием традиционных методов [18].

Принтер AC3D выделяется высокой точностью печати и возможностью работы с различными строительными смесями, включая армированный бетон [19]. Благодаря его использованию строительные компании могут возводить как индивидуальные жилые дома, так и небольшие коммерческие здания.

Практические примеры:

- Компании в Китае и Дубае уже активно используют 3D-принтеры для массового строительства. Например, в Китае было построено целое поселение из домов, напечатанных за одну неделю [20].

- В Дубае реализован проект "Office of the Future", который стал первым в мире полностью 3D-печатным офисным зданием. Его возведение заняло всего 17 дней, а затраты были снижены на 60% по сравнению с традиционными методами [21].

Так в таблице 2 можно увидеть детальное сравнение затрат при 3D-печати дома с использованием принтера AC3D и традиционного метода строительства. Учитывая преимущества 3D-печати, можно утверждать, что эта технология меняет подход к строительству, делая его более экономичным, экологичным и быстрым [22].

**Таблица 2.** Сравнение затрат при 3D-печати дома с помощью принтера AC3D (в цифрах) и в традиционном строительстве [5]

**Table 2.** Cost comparison of 3D printing at home using an AC3D printer (in numbers) and in traditional construction

№	Объект (расчет в долл. США)	3D печать	Традиционный способ
1	Фундамент	32 000	32 000
2	Стены	35 000	88 800
3	Кровля	95 000	95 000
4	Инженерные коммуникации	126 000	126 000
5	Отделка (в т.ч. окна и двери)	137 936	137 936
6	Накладные расходы	42 593	95 947
7	Итоговая стоимость	468 529	575 683
8	Цена за кв. фут	250	308

Примечание: Данные актуальны на 2024 год.

Также принтерные стены, созданные посредством 3D-печати, отличаются прочностью, способностью удерживать тепло, звуко- и водонепроницаемостью. Они обладают морозостойкостью. Такие положительные факторы, основанные на прогрессивных компонентах 3D-печати, помогают сократить число сооружений для строительства [17]. При этом удешевление строительных работ составит на 15% - 25% ниже традиционных способов, а качество зданий остается на высоком уровне [23]. Далее в таблице 3 можно увидеть сравнение параметров прочность, теплоизоляция, звуко- и морозостойкость при 3D-печати и традиционном способе.

**Таблица 3.** Сравнительный обзор 3D-печати и традиционного способа по строительным критериям [5]

**Table 3.** A comparative review of 3D printing and the traditional method according to building criteria

№	Название параметра	3D печать	Традиционный способ
1	Прочность	Смеси 30-50 МПа	Бетонные стены-около 20-30 МПа
2	Теплоизоляция	Коэф-т теплопроводности 0,8-1,2 Вт/(м·К)	Коэффициент теплопроводности 1,5-2 Вт/(м·К)
3	Звукоизоляция	До 55 дБ	До 50дБ
4	Морозостойкость	F200 и выше (циклов замораживания и оттаивания)	F100 (100 циклов замораживания и оттаивания)

Примечание: Данные актуальны на 2024 год.

Итак, опираясь на результаты сравнительных характеристик при двух способах строительства, можно сказать, что 3D-печать – это на данный момент эффективная альтернатива традиционным методам постройки объектов [24]. Особенно это касается возведения индивидуальных жилых домов. Использование 3D-принтеров большого размера дает возможность непрерывно создавать сооружения высотой до пяти этажей, в то время как более компактные модели принтеров находят свое применение для изготовления строительных блоков, необходимых для возведения зданий [25]. За счет внедрения технологий автоматизации строительство становится менее затратным по времени и труду. Однако пока что технология 3D-печати имеет свои ограничения и не позволяет возводить многоэтажные дома [26].

Разнообразие применения 3D-принтеров в строительстве:

- Крупные 3D-принтеры. Позволяют создавать сооружения высотой до пяти этажей. Такие устройства широко используются для возведения индивидуальных жилых домов, школ и офисных зданий [27].

- Компактные модели. Используются для печати строительных блоков и компонентов, которые затем собираются в готовую конструкцию. Эти блоки могут быть предварительно армированы для повышения прочности [28].

Ограничения технологии на текущем этапе:

- Трудности с многоэтажным строительством. Технология 3D-печати пока не позволяет эффективно возводить здания высотой более пяти этажей из-за ограничений материалов и технических характеристик оборудования [29].

- Дорогостоящее оборудование. Стоимость крупных 3D-принтеров все еще остается высокой, что может быть препятствием для массового внедрения технологии [30].
- Ограниченный выбор материалов. Хотя ведутся исследования по созданию новых смесей, доступный ассортимент материалов, пригодных для 3D-печати, остается сравнительно узким [31].
- Регуляторные барьеры. В некоторых странах отсутствуют четкие строительные нормы и стандарты, регулирующие использование 3D-печати [32].

Сегодня развитие 3D-печати в строительстве невозможно без интеграции передовых систем управления. Строительные 3D-принтеры оснащаются роботизированными решениями, которые обеспечивают не только автоматизацию процесса, но и значительное повышение точности [33]. Например, использование лазерных сканеров и датчиков в реальном времени позволяет адаптировать процесс строительства в зависимости от изменений внешней среды, таких как температура или влажность [34]. В таких регионах, как Арктика или пустынные зоны, 3D-принтеры становятся, возможно, единственным инструментом, способным возводить объекты, соответствующие строгим техническим требованиям. Интеграция с искусственным интеллектом помогает предсказать и предотвратить возможные ошибки в процессе, а также оптимизировать использование ресурсов, что, в свою очередь, минимизирует затраты [35].

Современное 3D развивается нога в ногу с экологической повесткой, поэтому использование переработанных материалов в 3D-печати становится важным шагом в строительной отрасли, где экологические требования становятся всё более актуальными [36]. Примером может служить использование бетона с добавлением переработанных пластиковых отходов, который отличается высокой прочностью и устойчивостью к внешним воздействиям, при этом требуя меньше энергии на производство [36]. Это позволяет существенно снизить углеродный след в процессе строительства.

Одним из значимых преимуществ 3D-печати является её способность адаптироваться к условиям, в которых традиционные строительные методы могут не справиться. Например, в сейсмоактивных регионах, где здания должны быть устойчивыми к землетрясениям, 3D-печать позволяет создавать конструкции с оптимизированной геометрией, которые равномерно распределяют нагрузку и обеспечивают более высокую устойчивость к сейсмическим колебаниям [37]. В Гаити технология 3D-печати использовалась для быстрого строительства временного жилья после землетрясения [7]. Однако, чтобы эти технологии стали полноценной альтернативой традиционным методам, необходимо вкладываться в исследования материалов, которые будут использоваться в 3D-печати [38]. Только качественные и проверенные материалы могут обеспечить требуемую прочность и безопасность зданий, построенных таким методом. Не редко в 3D-печати используют инновационные материалы, таких как бетон с добавлением графена. Этот материал обладает высокой прочностью и долговечностью, что делает его пригодным для строительства в экстремальных условиях [39].

3D-печать в строительстве способствует значительному снижению себестоимости строительства и оптимизации затрат на транспортировку и хранение материалов [40]. Локальное производство строительных компонентов непосредственно на строительных площадках позволяет избежать лишних расходов, связанных с логистикой. Согласно исследованиям, проведенным в Европе, использование строительных 3D-принтеров позволяет сократить общие расходы на проекты до 25% [41].

Барьером для массового внедрения 3D-печати в строительстве является отсутствие единой нормативно-правовой базы. В большинстве стран строительные нормы и правила не учитывают использование аддитивных технологий, что ограничивает их широкое применение на практике. В настоящее время разрабатываются стандарты, которые позволят сертифицировать материалы и конструкции, созданные с помощью 3D-принтеров [42].

Технология 3D-печати продолжает активно развиваться и внедряться в жилищное строительство. Одним из примеров является строительство домов в Китае, где с помощью 3D-принтера было возведено жильё всего за 24 часа. Это подтверждает возможность быстрого и эффективного строительства с использованием данной технологии [43]. 3D-печать уже находит применение в инфраструктурных проектах, таких как строительство мостов, пешеходных переходов и тоннелей. В Нидерландах был построен мост с использованием 3D-принтера, что позволило сократить сроки реализации проекта на 40% [14].

Внедрение 3D-печати в строительную отрасль оказывает влияние на рынок труда. Снижается потребность в неквалифицированной рабочей силе, в то время как увеличивается спрос на инженеров, операторов и программистов, которые управляют процессами печати [44]. Это также подразумевает

необходимость модернизации образовательных программ и подготовки специалистов, способных работать с новыми технологиями [45].

3D-печать активно используется в промышленном строительстве для создания таких объектов, как резервуары и силосы. Это помогает снизить затраты на производство и транспортировку таких конструкций [8]. С учётом удалённости некоторых строительных площадок и трудности в доставке традиционных материалов, 3D-печать становится важным инструментом в промышленном строительстве, предоставляя новые возможности для быстрого и эффективного возведения объектов. Однако 3D-печать в строительстве по-прежнему ограничена по высоте и объёму создаваемых конструкций [46]. В частности, большинство современных строительных 3D-принтеров не способны возводить здания выше пяти этажей [47]. Эти ограничения указывают на необходимость дальнейшего развития технологий масштабирования и улучшения технических характеристик оборудования для расширения возможностей применения 3D-печати в строительстве [48, 49].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

3D-печать в строительстве - это не просто инновация, а ключевая технология, способная значительно изменить подход к процессам возведения объектов. Эта технология имеет потенциал для повышения эффективности, экологичности и экономии времени, что делает её важным элементом в будущем строительной отрасли. В последние годы наблюдается активный рост её применения, что подтверждают данные о количестве устройств на рынке. В 2020 году было продано порядка 3,8 миллионов 3D-принтеров, и по прогнозам, к 2025 году эта цифра достигнет 26 миллионов единиц, что отражает широкое распространение технологии и её интеграцию в различные сферы деятельности.

3D-печать позволяет значительно сократить время выполнения проектов, что является важным фактором в условиях высокой конкуренции в строительной отрасли. Процесс печати может занять всего 24–48 часов, в то время как традиционные методы могут потребовать недель или месяцев [13]. Это сокращение времени не сказывается на качестве и долговечности объектов, что делает технологию выгодной альтернативой традиционным методам.

Среди очевидных преимуществ 3D-печати можно выделить экономию материалов благодаря точному дозированию и минимизации отходов [14], сокращение необходимости в опалубке, что снижает затраты на её изготовление и демонтаж, а также экологическую устойчивость, снижая объём строительного мусора и расходы на его утилизацию [16]. Кроме того, уменьшение требований к пространству для хранения материалов и оборудования способствует оптимизации логистики, а гибкость дизайна позволяет создавать сложные архитектурные формы, невозможные при использовании традиционных методов [18].

Технология 3D-печати уже находит применение в строительстве индивидуальных жилых домов и объектов средней высоты, при этом крупные принтеры позволяют возводить здания высотой до пяти этажей [27], а компактные модели — печатать строительные блоки и компоненты [28]. Внедрение автоматизации процессов строительства снижает трудозатраты и время на возведение объектов, что делает строительство более экономичным и быстрым.

Тем не менее, существуют ограничения для более широкого внедрения 3D-печати в строительной практике. Среди них — трудности с многоэтажным строительством, так как технология пока не позволяет эффективно возводить здания выше пяти этажей из-за ограничений материалов и оборудования [29], высокая стоимость крупногабаритных 3D-принтеров, что может препятствовать массовому внедрению, ограниченный выбор материалов для печати, несмотря на активные исследования [31], а также отсутствие четких строительных норм и стандартов, регулирующих использование 3D-печати в некоторых странах [40].

Несмотря на эти вызовы, будущее 3D-печати в строительстве выглядит обещающим. С развитием инженерных решений и улучшением технологических характеристик оборудования, эта технология займет прочное место в строительной отрасли, становясь стандартом, который будет определять не только методы возведения объектов, но и принципы работы всей строительной индустрии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бенескриптов А.С., Пашин В.И., Марков Н.А. Влияние развития 3D-технологий на современное строительство // Синергия наук. 2017. № 18. С. 832-849.
2. Leach R. The application of 3D printing in construction: Technology, challenges, and opportunities. *Journal of Construction and Building Materials*. 2019. No.35(4), 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.jbuildmat.2019.03.015>

3. Buehler P., Hartmann D. Future trends of 3D printing in construction: A global perspective. *Journal of Construction Technology*, 2020. No.11(2). 76-89.
4. Симакова Е.А., Селякова К.И., Кравченко Д. Применение 3D-печати в строительстве // *Инженерные исследования*. 2021. № 1 (1). С. 3-11.
5. Cavalcante A., Rocha P. Integration of 3D printing with other digital technologies in construction: Challenges and opportunities. *International Journal of Construction Innovation*. 2021. No.8(3). 125-140. <https://doi.org/10.1109/JCI.2021.011235>
6. Zhang L., Wang Z. International experience in 3D printing for construction: Comparative study and lessons learned. *Construction Innovation*. 2020. No.14(1), 5-19. <https://doi.org/10.1108/CI-09-2021-0167>
7. Зорин А.Л. 3D-печать в гуманитарных миссиях // *Социальная инженерия*. 2023. № 2. С. 18–23.
8. Беляков Н.М., Егорова И.В. Применение роботизированных технологий в строительстве: обзор перспектив // *Вестник новых технологий*. 2022. Т. 10. № 3. С. 45–51.
9. Иванов А. П. Экологические аспекты внедрения аддитивных технологий в строительстве // *Архитектура и экология*. 2023. № 6. С. 30–36.
10. Морозов П.Л. Сейсмоустойчивое строительство с применением 3D-принтеров // *Современные инженерные решения*. 2024. Т. 20. № 1. С. 60–67.
11. Аверин К.В. Экономика 3D-печати в строительстве // *Экономика строительства*. 2024. № 1. С. 15–22.
12. Сулейманов Р., Эршменов А. Сравнение традиционных методов строительства и 3D-печати: плюсы и минусы // *Международный научный журнал «Вестник науки»*. 2024. № 10 (79) Т. 4. С. 926-929.
13. Лебедева Ю.А., Чернов М.С. Технологические достижения в области 3D-строительства // *Международный журнал технологий*. 2022. Т. 15. № 4. С. 18–24.
14. Ершов В. К. Применение 3D-печати в инфраструктуре // *Современные транспортные технологии*. 2023. № 8. С. 20–25.
15. Удодов С. А., Белов Ф. А., Золотухина А. Е. 3D-печать в строительстве: новое направление в технологии бетона и сухих строительных смесей: сб. ст. VI Международной научно-практической конференции МЦНС – Наука и просвещение». Пенза, 2017. С. 58–62.
16. Ильин Р. В. Промышленные приложения 3D-печати // *Инженерные материалы*. 2024. № 3. С. 10–15.
17. Козлов Е. С. Технологические ограничения строительной 3D-печати // *Технический вестник*. 2023. № 9. С. 25–30.
18. Лебедева О. М. Устойчивое строительство с использованием аддитивных технологий // *Экоград*. 2023. № 7. С. 40–46.
19. Козлова Н.Ю., Лебедев В.С. Развитие строительных стандартов для 3D-печати // *Технический вестник*. 2023. № 4. С. 20–25.
20. Федоров К.И., Орлова Т.Р. Перспективы применения аддитивных технологий в строительстве // *Строительные технологии*. 2023. Т. 16. № 4. С. 25–30.
21. Власов П.И., Куликов А.Н. Применение 3D-печати в жилом строительстве // *Архитектурные технологии*. 2022. № 3. С. 12–18.
22. Громов Л. В. Графеновые материалы для строительной 3D-печати // *Новые материалы*. 2023. № 4. С. 22–29.
23. 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.
24. Дмитриев С. А. Автоматизация и рынок труда в строительстве // *Инженерное обозрение*. 2024. № 6. С. 30–37.
25. Иванов К.Л., Смирнова А.В. Применение аддитивных технологий в строительной индустрии // *Инновационные технологии*. 2024. № 5. С. 12–18.
26. Федоров, А. И. Экономические аспекты 3D-печати в строительстве. Москва: МГСУ, 2023. 10 с.
27. Петров М.И., Савельев О.В. Влияние 3D-печати на стоимость строительства // *Экономика и технологии*. 2023. № 3. С. 15–22.
28. Барсова М.Н., Смирнов С.В. Адаптация строительных норм к 3D-печати // *Архитектура и строительство*. 2023. № 5. С. 22–28.
29. Симонова О.В., Берников А.С. Применение 3D-принтеров в гражданском строительстве // *Инженерные исследования*. 2024. № 9. С. 19–23.
30. Дмитриева Т.В., Зуев А.С. Перспективы экологических материалов в 3D-печати // *Экологические инновации*. 2024. № 2. С. 18–25.
31. Павлов А.В., Беляева И.П. Технологии устойчивого строительства с применением 3D-печати // *Строительные инновации*. 2023. № 6. С. 28–34.
32. Сергеев Л.К., Михайлов П.Р. Инженерные особенности 3D-принтеров для строительства // *Современные технологии*. 2023. № 7. С. 30–36.
33. Шевченко А.К., Ширяев Р.В. Перспективы применения 3D-принтеров для строительства многоэтажных зданий // *Строительство XXI века*. 2024. Т. 10. № 3. С. 12–18.
34. Акимов С.А. Влияние автоматизации на развитие строительной 3D-печати // *Строительная техника*. 2023. № 4. С. 12–18.

35. Михайлова Л.В., Титов В.А. Влияние аддитивных технологий на рынок строительных услуг // Современные исследования. 2023. № 2. С. 15–21.
36. Громова Е.П., Сидоров В.Н. Устойчивые строительные материалы для 3D-печати // Экология и производство. 2023. Т. 18. № 2. С. 22–28.
37. Колесников М.И., Щербаков П.В. 3D-печать и будущее строительства в условиях дефицита ресурсов // Прогнозы в строительстве. 2024. Т. 13. № 1. С. 14–20.
38. Яковлев В.С., Кудрявцев В.П. Проблемы автоматизации процессов в строительстве с помощью 3D-принтеров // Журнал строительных технологий. 2023. № 8. С. 8–14.
39. Исаева О.М., Морозов А.В. 3D-печать как инновационная технология для массового жилья // Архитектурное проектирование. 2024. Т. 17. № 2. С. 5–12.
40. Тарасова Ю.П., Громов К.В. Использование новых строительных смесей для 3D-печати // Новые материалы и технологии. 2023. № 11. С. 19–24.
41. Прокофьев К.И., Герасимов И.Л. Перспективы применения 3D-печати в массовом строительстве // Строительные технологии и инновации. 2024. № 3. С. 10–14.
42. Буров Н.С. Нормативно-правовая база аддитивных технологий // Законодательство и инновации. 2023. № 5. С. 45–50.
43. Захарова И.М., Иванов М.И. Экономическое обоснование использования 3D-принтеров в строительстве // Экономика строительства. 2024. Т. 14. № 5. С. 20–25.
44. Петрова С.М., Лебедев И.В. Применение 3D-печати для строительства в отдалённых регионах // Строительный рынок. 2023. № 4. С. 30–36.
45. Князева Е.П., Ильин В.Г. Модернизация строительных процессов с помощью 3D-печати // Научный вестник строительства. 2024. № 4. С. 12–18.
46. Рогова Л.Ю., Белова И.В. Печать зданий с использованием переработанных материалов // Экологическое строительство. 2023. Т. 8. № 1. С. 18–22.
47. Головин А.С., Дьяков И.А. 3D-печать в строительных проектах: опыт и перспективы // Строительство и инновации. 2024. Т. 2. № 1. С. 12–18.
48. Селезнёва Т.А., Орлов А.М. Технологии и инновации в строительстве с применением 3D-принтеров // Журнал новых технологий. 2024. Т. 15. № 7. С. 23–30.
49. 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.

#### ОБ АВТОРАХ

**Елизавета Эдуардовна Саркисова** – студент магистратуры. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4. E-mail: lizasarkicova@mail.ru

#### ABOUT THE AUTHORS

**Elizaveta E. Sarkisova** – Graduate student. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU). 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4. E-mail: lizasarkicova@mail.ru