**3Д Печать в строительтсве. Проблемы, перспективы и технологии**

|  |
| --- |
| **М.А.Балакшина, К.В,Каденец**  1, *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург (Российская Федерация)* |

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные технологии 3D-печати в строительстве, их преимущества, ограничения и перспективы. Основное внимание уделено методам аддитивного производства, экологическим аспектам и экономической эффективности применения технологий. Приведены примеры успешного использования 3D-принтеров в строительстве в различных странах, включая Россию. Также обсуждаются вызовы, связанные с недостаточной стандартизацией и ограничениями используемых материалов. Особый акцент сделан на архитектурных возможностях 3D-печати, а также на разработках в области интегрированного армирования и контурного строительства.

**Ключевые слова:** 3Д-печать, аддитивное производство, строительство, пословное возведение конструкций, экструзия, бетонные смеси, 3Д-принтер.

**3D PRINTING IN CONSTRUCTION. PROBLEMS, PERSPECTIVES AND TECHNOLOGIES**

|  |
| --- |
| **А.D. Golubev**1**, V.S. Zorina**1**, E.E. Kotarskaya**1**, D.А. Krapivin**1**, I.А. Simonov**1  1 *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg (Russian Federation)* |

**Abstract**. The article considers modern 3D printing technologies in construction, their advantages, limitations and prospects. The main attention is paid to the methods of additive manufacturing, environmental aspects and economic efficiency of technology application. Examples of successful use of 3D printers in construction in various countries, including Russia, are given. Challenges related to insufficient standardization and limitations of materials used are also discussed. Special emphasis is placed on the architectural possibilities of 3D printing, as well as developments in the field of integrated reinforcement and contour construction.

**Keywords:** 3D printing, additive manufacturing, construction, post construction of structures, extrusion, concrete mixes, 3D printer.

ВВЕДЕНИЕ

Рост урбанизации и интерес инвесторов к сфере строительного производства стали одним из ключевых факторов, стимулирующих развитие автоматизированного проектирования и строительства. Современная промышленность активно внедряет роботизацию в таких областях, как машиностроение, космическая отрасль и горнодобывающая промышленность. Однако модернизация и компьютеризация в строительстве начались только в начале 2000-х годов благодаря современным технологиям, что привело к появлению аддитивного строительства.

Рассмотрим, например, процесс возведения индивидуального жилого дома. Традиционно требуется участие большого числа строителей, в то время как в 3D-строительстве достаточно двух рабочих. Это наглядно демонстрирует одно из главных преимуществ аддитивных технологий — значительное снижение трудозатрат.

ИСТОРИЯ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Первые эксперименты с 3D-печатью в строительстве были проведены еще в 1997 году, когда Джозеф Пенья предложил метод быстротвердеющих бетонных слоев. Этот подход был усовершенствован в 2002 году профессором Б. Хошневисом из Университета Южной Калифорнии, который разработал метод контурной печати. С тех пор технология 3D-печати в строительстве значительно эволюционировала, но до сих пор остаются проблемы, связанные с выбором подходящих строительных материалов и совершенствованием методов проектирования.



Рис.1. Количество 3Д печатных конструкций, зарегистрированных по годам выполнения.[1].

Fig.1. The number of 3D printed designs registered by year of completion.[1].

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПРИНТЕРОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

За последние годы технологии 3D-печати достигли нового уровня, сделав её востребованной в архитектуре и строительстве. Расширение ассортимента материалов, таких как технологичные полимеры и сплавы, позволило использовать 3D-принтеры в разных отраслях.

Основные направления применения

• Строительство и архитектура: Создание детальных макетов зданий, прототипов фасадов, окон, дверей и элементов интерьера. Например, калифорнийские инженеры разработали систему 3D-печати для домов, способную возводить двухэтажные здания за 20 часов. Также возможно изготовление форм для строительства сложных конструкций, что снижает стоимость и ускоряет процесс [2].

• Машиностроение: Производство деталей высокой точности.

• Медицина: Воссоздание моделей органов, протезирование, создание искусственной кожи.

• Пищевая промышленность: Изготовление продуктов с уникальными формами.

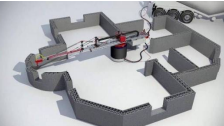
В архитектуре 3D-принтеры помогают не только визуализировать проекты, но и тестировать их на практике, предотвращая ошибки. Благодаря высокой детализации, такие технологии позволяют эффективно планировать строительство. Например, Studio RAP из Нидерландов создала более 3000 уникальных плиток для оформления жилого комплекса в Делфте, демонстрируя возможности керамической 3D-печати. Полностью цифровой процесс от проектирования до изготовления сокращает время и затраты, гарантируя высокое качество.

Ограничения

Несмотря на преимущества, модели часто требуют дополнительной обработки для придания аккуратного вида. Пластиковые макеты могут быть хрупкими, что требует усиления внутренними опорами из дерева или металла. Тем не менее, 3D-печать существенно сокращает время и затраты, а её потенциал продолжает расти. По прогнозам футурологов, эта технология изменит подход к проектированию и строительству.

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ

Основным методом 3D-печати строительных конструкций является экструдирование. Экструдер послойно выдавливает бетонную быстротвердеющую смесь, формируя отдельные элементы конструкции. Строительный 3D-принтер по своей конструкции напоминает небольшой башенный кран, охватывающий стрелой периметр здания (Рис.2).



**Рис. 2.** Строительный 3D-принтер, работающий в угловых координатах

**Fig. 2.** A construction 3D printer operating in angular coordinates

Данное изобретение относится к методам и устройствам для изготовления изделий с использованием аддитивных технологий (3D-печати). Оно находит применение в различных отраслях промышленности, народного хозяйства и для личных нужд, особенно там, где требуется изготовление сложных деталей из полимерных материалов. Примеры применения включают машиностроение, авиацию, станкостроение, электроэнергетику, космонавтику, медицину, строительство, дизайн, моделирование, бытовые задачи и другие сферы.

Предложенный способ аддитивного производства включает формирование изделия из послойно наносимого многокомпонентного химически отверждаемого материала. Компоненты подаются в печатающую головку по отдельным каналам, смешиваются перед соплом и послойно наносятся. Отличительной особенностью метода является регулировка времени нанесения слоя так, чтобы оно превышало время гелеобразования материала, но было меньше времени его полного отверждения. Это позволяет:

* создавать изделия с высокой прочностью, адгезией между слоями и минимальной анизотропией;
* формировать сложные формы без деформации благодаря частичной отвержденности предыдущего слоя к моменту нанесения следующего;
* обеспечить образование химических связей между слоями, что усиливает их «сшиваемость».

Изделие создается с использованием специализированного устройства, включающего:

1. Отдельные емкости для компонентов с насосами для их подачи;
2. Печатающую головку с каналами для компонентов, совмещенную со смесителем и соплом;
3. Механизм перемещения головки;
4. Область построения изделия;
5. Компьютер с программным обеспечением, которое управляет процессом и обеспечивает соблюдение временных условий .

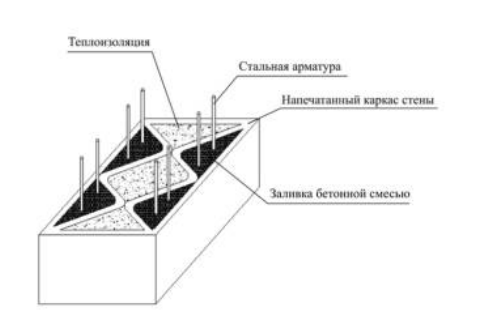
Особенности конструкции устройства:

1. Система перемешивания в емкостях: обеспечивает однородность компонентов и предотвращает их расслоение.
2. Клапаны в печатающей головке: предотвращают подтекания материала при холостых перемещениях, что улучшает точность и качество печати.
3. Система рециркуляции компонентов: поддерживает их однородность и предотвращает выпадение осадка.
4. Система подачи армирующей нити: позволяет добавлять армирование в изделие.
5. Система термостатирования: поддерживает необходимую температуру компонентов и смеси, улучшая их механические свойства [3].

Для аддитивного строительства используются различные материалы, включая фотополимеры, керамонаполненные жидкие фотополимеры, порошковые полиамиды, металлические сплавы, гипсовый порошок и другие. Ключевым фактором в технологии является состав смеси, который должен обеспечивать быструю прочность, минимальные деформации и достаточную пластичность. Обычно в смеси для 3D-печати используется бетон с добавками, улучшающими его свойства, такими как цемент, микрокремнезем, зола-унос и каолиновая глина. Армирование производится стеклянной или полипропиленовой фиброй, а добавление воды регулируется для достижения оптимальной консистенции [4].

Для улучшения характеристик бетона применяются химические добавки: пластификаторы для удобоукладываемости, ускорители и замедлители твердения, а также водоредуцирующие компоненты. Технология 3D-печати позволяет создавать конструкции любой формы без необходимости установки опалубки, что является значительным преимуществом по сравнению с традиционными методами.

Конструкции, напечатанные на 3D-принтере, часто напоминают ферму: внутренние и наружные слои выполняют роль поясов, а ребра жесткости обеспечивают устойчивость. Для дополнительной прочности возможно армирование фибрами или арматурными стержнями между слоями. Пустоты в стенах могут использоваться для прокладки коммуникаций, вертикального армирования или заполнения утеплителем (Рис.3).



**Рис. 3.** Конструкция стены, выполненная на 3D-принтере

**Fig. 3.** A wall structure created using a 3D printer

ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В последние годы технология 3D-печати прочно вошла в строительную отрасль, демонстрируя значительные достижения. За последние пять лет было построено 112 объектов общей площадью около 10 000 м², при этом в проектах принимали участие порядка 30 организаций, включая частные компании и университетские лаборатории. Строительные процессы активно используют портальные 3D-принтеры и роботов-манипуляторов, которые создают компоненты как непосредственно на стройплощадке, так и на заводах для дальнейшей сборки. Этот подход позволяет значительно сократить время строительства и затраты на рабочую силу.

3D-печать предлагает уникальные преимущества, в том числе возможность создания стен с внутренними пустотами. Это не только уменьшает массу конструкции, но и улучшает теплоизоляционные свойства. Пустоты в стенах могут быть использованы для размещения изоляционных материалов или для армирования, что особенно важно для повышения прочности и устойчивости зданий.

Тем не менее, большинство объектов, построенных с использованием 3D-принтеров, не оснащены достаточным уровнем армирования для того, чтобы выдерживать сложные нагрузки. Большинство объектов, построенных с использованием 3D-печати, представляют собой одноэтажные здания площадью около 80 м². Тем не менее, существуют примеры и более сложных конструкций, включая двухэтажные здания, где для повышения прочности применяются дополнительные строительные технологии. В большинстве случаев такие здания предназначены для регионов с низким риском природных катастроф, таких как землетрясения, что ограничивает их устойчивость к более серьезным внешним воздействиям.

ПРЕИМУЩЕСТВА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аддитивные технологии (АТ) уверенно вошли в строительную отрасль, предлагая ряд существенных преимуществ. Ключевыми плюсами являются снижение числа обслуживающего персонала, что уменьшает травмоопасность, а также минимизация отходов, что положительно сказывается на экологии. Технология позволяет повысить архитектурную выразительность конструкций и обеспечивает их монолитность благодаря непрерывному нанесению слоев. Также примечательной является высокая скорость строительства: китайская компания WinSun смогла напечатать десять одноэтажных домов по 200 м² всего за сутки (Рис.4, Рис.5) [5].

Успех применения AТ зависит от достижений в трех областях: информационных технологиях, машиностроении и материаловедении. Многие проблемы в первых двух областях уже решены благодаря долгой истории развития 3D-технологий. Совершенствование технологий позволило печатать дома с уже интегрированными инженерными системами.

Тем не менее, печатная технология всё еще находится на стадии тестирования. Проблемы включают сложности с подключением коммуникаций, высокую стоимость строительных принтеров и потенциальные трещины в конструкциях. На данный момент строительные компании в основном ограничиваются возведением одноэтажных объектов.

Примеры успешных проектов в Китае показывают, что технологии способны не только сокращать сроки строительства, но и экономить материалы. Специалисты подсчитали, что дом, построенный по технологии 3D печати, сданный под ключ, будет стоить порядка 20 000 долларов, что вдвое меньше аналогичного строения из кирпича. При этом качество строительства получается на порядок выше. Напечатанные здания, в том числе офис по проекту под Шанхаем, демонстрируют высокую производительность, завершив строительство за 30 дней. При таких темпах и ценах AТ могут стать решением жилищных проблем как в Китае, так и в других странах [5].

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Рис. 4.** Экспериментальный дом в Шанхае  **Fig. 4.** Experimental house in Shanghai | **Рис. 5.** Процесс строительства  **Fig. 5.** The construction process |

ЭКОНОМИЧНОСТЬ И УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ

Эффективность этой технологии подтверждается конкретными примерами. Например, китайские компании уже используют 3D-принтеры для строительства как небольших домов, так и многоэтажных зданий. Впечатляет скорость возведения: отдельные объекты, такие как виллы или офисы, могут быть построены всего за несколько дней. Как отмечают специалисты, «3D-принтеры уже позволяют печатать не только элементы зданий, но и целые дома, сокращая расходы на 30–40%» [6].

Техническая сторона 3D-печати также не менее интересна. Основой для строительства служат специальные строительные смеси, включающие портландцемент, гипс, геополимеры и модифицирующие добавки. Эти материалы обладают уникальными свойствами: они быстро твердеют, сохраняют прочность, а также легко поддаются слоям укладки, что делает процесс печати практически бездефектным. В качестве экологичной альтернативы многие компании переходят на геополимерные смеси, которые снижают выбросы углекислого газа на 90% по сравнению с традиционным производством бетона.

Применение 3D-принтеров открывает возможности для работы в самых разных условиях. Технология отлично подходит для строительства в регионах, пострадавших от стихийных бедствий, где требуется быстрое возведение зданий. Также она позволяет создавать сложные архитектурные формы, недоступные для традиционных методов.

Международный опыт показывает, что технология 3D-печати находит применение не только в строительстве домов, но и в создании инфраструктурных объектов. В Нидерландах, например, с помощью принтеров строят мосты и путепроводы, а в Дубае штаб-квартира Future Foundation стала одним из первых зданий, полностью возведенных с использованием этой технологии (Рис.6).

В России технология тоже постепенно находит своих сторонников. Одним из самых известных проектов стало строительство дома в Ярославле, напечатанного с использованием 3D-принтера. Этот проект продемонстрировал, что технология позволяет не только существенно ускорить процесс, но и сделать его экономически выгодным (Рис.7).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Рис. 6.** Штаб-квартира Future Foundation в Дубае  **Fig. 6.** Future Foundation headquarters in Dubai | **Рис. 7.** Частный дом в Ярославле  **Fig. 7.** Private house in Yaroslavl |

АРХИТЕКТУРНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ПЕЧАТИ

Одним из самых больших преимуществ 3D-печати в строительстве является возможность создания сложных геометрических форм, которые традиционными методами не всегда возможны. Архитектурные проекты, использующие 3D-принтеры, включают как традиционные прямоугольные формы, так и более инновационные, изогнутые конструкции. Эти органичные формы, напоминающие природные структуры, позволяют максимально эффективно использовать потенциал технологии.

Примеры таких конструкций включают здания с яйцеобразными или спиральными формами, которые не только эстетически привлекательны, но и позволяют существенно повысить энергоэффективность и устойчивость конструкций. Это открывает новые горизонты для архитекторов и инженеров, предлагая больше возможностей для экспериментирования с формами и структурами зданий.

ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Несмотря на значительные достижения, 3D-печать в строительстве сталкивается с рядом технических и практических ограничений. Одной из главных проблем остается прочность материалов, особенно для многоэтажных конструкций. Большинство современных проектов ориентированы на одноэтажные здания в районах с низким риском природных катастроф.

Для того чтобы технология могла быть использована для более крупных и сложных объектов, необходимо разработать новые материалы и усовершенствовать процесс печати, чтобы он обеспечивал необходимую прочность и сейсмоустойчивость.

Также остаются вопросы, связанные с продолжительностью процесса строительства, стоимостью оборудования и техническим обслуживанием принтеров. В некоторых случаях использование 3D-принтеров может быть дороже традиционных методов строительства, особенно если речь идет о многоэтажных зданиях.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИНТЕГРИРОВАННОГО АРМИРОВАНИЯ

Один из самых значимых шагов в развитии технологии 3D-печати для строительства — это интеграция армирования непосредственно в процесс печати. В традиционных 3D-принтерах для бетона армирование добавляется после печати, что может уменьшить прочностные характеристики. Однако новые разработки позволяют внедрить армирующие элементы прямо в процессе укладки бетона, что значительно увеличивает прочность и долговечность конструкций.

Такой подход исключает необходимость в дополнительных этапах армирования и позволяет создавать более прочные и надежные конструкции. Например, предложенная модель 3D-принтера включает систему армирования, которая наносит бетон с использованием армирующих сеток, а также дополнительно укладывает вертикальные и горизонтальные элементы армирования во время печати. Это значительно улучшает эксплуатационные характеристики зданий и делает их более устойчивыми к внешним воздействиям [7].

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

В последние годы 3D-принтеры стали настоящим прорывом в строительной отрасли. Технология, которая когда-то воспринималась как нечто фантастическое, сегодня уже активно используется для возведения зданий, архитектурных форм и отдельных строительных элементов. Эти устройства предлагают невероятные возможности для автоматизации, экономии и экологического развития строительства.

Применение 3D-принтеров позволяет значительно сократить затраты времени и ресурсов. Традиционное строительство требует огромного количества материалов, большинство из которых впоследствии становится отходами. В то же время 3D-принтеры работают с точными расчетами, используя ровно столько материала, сколько нужно для создания заданной формы. Более того, такая технология позволяет перерабатывать строительные отходы, превращая их в сырье для так называемых «чернил». Это не только уменьшает нагрузку на окружающую среду, но и экономит средства. Это особенно актуально в условиях роста урбанизации и экологических проблем, с которыми сталкивается мир. Как отмечается, «применение строительного 3D-принтера позволяет возводить более сложные объекты с меньшими временными, материальными и трудовыми затратами» [8]. Основой для строительства служат специальные строительные смеси, включающие портландцемент, гипс, геополимеры и модифицирующие добавки. Эти материалы обладают уникальными свойствами: они быстро твердеют, сохраняют прочность, а также легко поддаются слоям укладки, что делает процесс печати практически бездефектным. В качестве экологичной альтернативы многие компании переходят на геополимерные смеси, которые снижают выбросы углекислого газа на 90% по сравнению с традиционным производством бетона.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПРИНТЕРОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Строительство зданий с использованием 3D-принтеров представляет собой инновационный подход, который требует предварительной подготовки площадки: заливки фундамента и выравнивания местности. Одна из ярких иллюстраций этого метода – «Офис будущего» в Дубае, построенный в 2016 году (Рис.6). Это первое в мире здание, полностью созданное на 3D-принтере, было реализовано в рамках программы правительства ОАЭ. Строительство заняло всего 17 дней и обошлось в 140 000 долларов. Части конструкции были напечатаны на заводах китайской компании WinSun и затем собраны в Дубае с проведением всех необходимых коммуникаций.

Сборка офиса требовала участия всего 17 человек, что позволило снизить затраты на оплату труда на 50%. В настоящее время здание эксплуатируется фондом Future Foundation и используется для разных мероприятий.

Преимущества внедрения 3D-принтеров в строительстве охватывают множество аспектов. Скорость работы принтера может сокращать сроки строительства до 60%, при этом средняя скорость печати составляет 7–10 м² в минуту, а в Китае – до 50 м². Технология также обеспечивает высокое качество работы, минимизируя влияние погодных условий и исключая необходимость в виброуплотнении [9].

Среди других достоинств – автоматизация процессов, безотходное производство, меньшие затраты по сравнению с традиционными методами (в 2–3 раза), а также возможность быстрой реакции на чрезвычайные ситуации. Однако существуют и недостатки, включая ограничение по высоте зданий, отсутствие стандартизации и контрольных норм, а также низкий уровень квалификации специалистов в этой области.

В целом, 3D-печать в строительстве обладает значительным потенциалом для повышения эффективности и устойчивости, что делает ее привлекательной для дальнейшего развития в отрасли.

КОНТУРНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО: РЕВОЛЮЦИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Контурное строительство, или 3D-строительство, становится перспективной альтернативой традиционным методам. С его помощью уже построено множество зданий, малых архитектурных форм и других объектов. Вместе с развитием 3D-техники совершенствуются и строительные материалы.

Материалы для контурного строительства

Для печати используется не обычный бетон, а быстротвердеющий реакционно-порошковый бетон, армированный стальной или полимерной микрофиброй. Такой состав обеспечивает смесь:

• Быстрым схватыванием.

• Пластичностью.

• Устойчивостью к усадке.

Дополнительно применяются мелкозернистые бетоны с гиперпластификаторами, ускорителями твердения и фиброй, что уменьшает затраты на строительство. Современные смеси включают:

• Сульфатостойкий цемент и песок.

• Добавки: регуляторы вязкости, пластификаторы на поликарбоксилатной основе, диоксид кремния для прочности и водонепроницаемости, а также полипропиленовую фибру длиной 6 мм.

• Армирование: использование тканых объемно-сетчатых каркасов для большей надежности.

Новые технологии нанесения

Инженеры разработали цементные пасты с ячеистой структурой, что увеличивает прочность смеси за счёт контролируемых воздушных просветов [10]. Эти инновации повышают устойчивость бетона к внешним нагрузкам.

Преимущества контурного строительства

Использование 3D-принтеров сокращает время возведения объектов и снижает расходы. Благодаря современным материалам и технологиям, 3D-строительство становится надёжным и экономичным решением, предлагая гибкость для реализации сложных архитектурных проектов. Оно обеспечивает высокую точность, минимизируя ошибки, и становится важным этапом в эволюции строительной отрасли.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ

Перспективы применения 3D-печати в строительстве с интегрированным армированием кажутся весьма многообещающими. Технология позволяет создавать более устойчивые и долговечные объекты с меньшими затратами и меньшими трудозатратами. К тому же, возможность создания сложных форм открывает новые возможности для архитекторов и дизайнеров, которые могут воплощать более смелые и оригинальные проекты.

Однако для того, чтобы эта технология могла стать массовой и использоваться для строительства многоэтажных зданий, потребуется дальнейшее развитие материалов и технологий. Важным шагом в этом направлении станет создание новых бетонов с повышенной прочностью и лучшими эксплуатационными характеристиками, а также улучшение способов армирования.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ВЫЗОВЫ ТЕХНОЛОГИИ

3D-печать в строительстве предлагает уникальные преимущества, в том числе возможность создания стен с внутренними пустотами. Это не только уменьшает массу конструкции, но и улучшает теплоизоляционные свойства. Пустоты в стенах могут быть использованы для размещения изоляционных материалов или для армирования, что особенно важно для повышения прочности и устойчивости зданий.

Тем не менее, большинство объектов, построенных с использованием 3D-принтеров, не оснащены достаточным уровнем армирования для того, чтобы выдерживать сложные нагрузки. Это ограничивает использование этой технологии для многоэтажных объектов и зданий, расположенных в сейсмически активных районах. Для повышения прочности конструкций зачастую требуется использование дополнительных строительных технологий, что увеличивает стоимость и сложность таких проектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, что 3D-печать — это не просто модный тренд, а настоящая революция в строительстве. Она снижает себестоимость проектов, делает их более экологичными и позволяет реализовывать архитектурные задумки, которые ранее казались невозможными. Тем не менее, для широкого распространения технологии необходимо продолжать исследовать свойства материалов, совершенствовать оборудование и разрабатывать нормативную базу.

Будущее строительства уже сегодня становится более доступным, быстрым и экологичным. Технология 3D-печати показывает, что возможности в этой области практически безграничны. А примеры из разных стран служат наглядным доказательством того, что этот подход способен изменить наш взгляд на создание архитектурных объектов и инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсупходжаев С.А.А., Ниғматжонов Д.А.Ў.Л., Фунтикова Р.Ю. Эволюция развития и обзор существующих строительных 3д принтеров// Universum: технические науки. 2022. С. 16-19. EDN: OKTIIX
2. Машарова Д.В. Возможности 3d принтера в архитектуре// Актуальные вопросы фундаментальных и прикладных научных исследований. 2024 С. 13-16. EDN: CZHPLL
3. Ноздрин Г.А., Лазарев Р.А. Способ и устройство для аддитивного производства изделий// Новые аддитивные технологии. 2022. EDN: IBAILT
4. Шлепнева Е.А., Денисова А.Р., Денисов Г.Р., ДенисовА Ю.В. Роль аддитивных технологий в строительстве. Материалы и их применение// Инновационное проектирование в современном обществе. 2024 С. 260-264. EDN: LZLWMV
5. Матюхина А.А., Никифорова Н.А., Никулина А.С., Дементьев Ю.А., Лесниченко Е.Н. Преимущества аддитивных технологий и пути совершенствования 3d строительства// Международная научно-техническая конференция молодых ученых бгту им. В.г. шухова. 2017. С. 2185-2189. EDN: XQPWZF
6. Курбатов В.Л., Дайронас М.В., Зайченко М. Перспективы применения аддитивных технологий в строительстве// Университетская наука. 2020. С. 18-22. EDN: QEOCQD
7. Ноздрин Г.А., Щаулов В.В., Стародумова А.А. 3д принтер, применяемый для возведения зданий и конструкций// Chemical sciences. 2018. EDN: ZBQVPV
8. Лернер И.Д., Сухинина Е.А. Здания из вторичного сырья с использованием аддитивных технологий// Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения. 2022. С. 195-198. EDN: THDVQR
9. Панеш З.А., Руденко О.Н. Использование 3d-принтера в строительной отрасли// Экономика и управление: современные тенденции. 2019. С. 195-198. EDN: KOEXNJ
10. Карпова М.С., Лейер Д.В. Современное развитие материалов для контурного строительства// Научное обеспечение агропромышленного комплекса. 2020 С. 525-527. EDN: QONJQU
11. El-Sayegh, S., Romdhane, L. & Manjikian, S. A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks. Archiv.Civ.Mech.Eng 20, 34 (2020).

ОБ АВТОРАХ

1. **Балакшина Мария Андреевна** – студент факультета «Менеджмент в строительстве». Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО СПБПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., дом 29.,. E-mail: [mariabalaksina589@gmail.com](mailto:mariabalaksina589@gmail.com)
2. Каденец Карина Владимировна – студент факультета «Бизнес-администрирование». Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО СПБПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., дом 29.,. E-mail: karinakadenets@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

1. 1. Balakshina Maria Andreevna is a student of the Faculty of Management in Construction. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University" (FGAOU HE SPBPU). 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic St., 29.,. E-mail: [mariabalaksina589@gmail.com](mailto:mariabalaksina589@gmail.com)
2. Karina Vladimirovna Kadenets is a student of the Faculty of Business Administration. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University" (FGAOU HE SPBPU). 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic St., 29.,. E-mail: karinakadenets@gmail.com