

при оценке качества фасадных решений в городской среде, а также рекомендовать учитывать особенности среды при выборе отделочного материала. В случае выбора материалов из вулканического туфа, важно обеспечивать отсутствие излишнего увлажнения элементов фасада и их регулярное проветривание.

#### Список литературы

1. Байер, В. Е. Архитектурный потенциал материала / В. Е. Байер // Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании: материалы международной научно-методической конференции 21-22 сентября 2016 г., Новосибирск. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А. Д. Крячкова, 2019. – С. 28-30.
2. Вулканический туф как активная минеральная добавка для портландцемента / И. В. Бессонов, А. Д. Жуков, П. М. Жук и др. // Строительные материалы. – 2022. – № 6. – С. 25-29.
3. Город, архитектура, человек и климат / М. С. Мягков, Ю. Д. Губернский, Л. И. Конова, В. К. Лицкевич; под ред. М. С. Мягкова. – Москва : Архитектура-С, 2007.
4. Кавер, Н. С. Современные материалы для отделки фасадов: учебное пособие / Н. С. Кавер. – Москва : Архитектура-С, 2005.
5. Казарян, Ж. А. Пример обследования комплекса зданий в историческом центре Москвы с рекомендациями по реставрации известняковых фасадов и перспективами применения в крупных проектах / Ж. А. Казарян // Добыча, обработка и применение природного камня: сборник научных трудов; отв. ред. Г. Д. Першин. – Вып. 17. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – С. 209-225.
6. Казарян, Ж. А. Природный камень в строительстве: обработка, дизайн, облицовочные работы: справочник / Ж. А. Казарян. – Москва : Петракомплект, 2021.
7. Комарова, Е. М. Применение вулканического туфа для наружных отделочных работ / Е. М. Комарова // Концепции устойчивого развития науки в современных условиях: сборник статей Международной научно-практической конференции 02 апреля 2021 г., г. Таганрог. – Уфа: OMEGA SCIENCE, 2021. – С. 268-271.
8. Королева, Т. В. Сохранение белого камня в памятниках архитектуры: учебное пособие / Т. В. Королева. – Москва : Архитектура-С, 2006.
9. Laue, H. Gefühlte Landschaftsarchitektur: Möglichkeiten der thermischen Einflussnahme in städtischen Freiräumen: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) / Hendrik Matthias Laue; Universität Kassel, Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung. – Kassel, 2009.

А. В. Бортников

A. V. Bortnikov

## Некоторые аспекты 3D-печати в строительстве Some aspects of 3D printing in construction

**Ключевые слова:** 3D-печать, строительство, архитектура

**Keywords:** 3D printing, construction, architecture

**Аннотация.** В статье приводится краткий обзор технологии 3D-печати в строительстве. Рассматриваются аспекты, влияющие на ее развитие.

**Abstract.** The article provides a brief overview of 3D printing technology in construction. The aspects influencing its development are considered.

Развитие цифровых технологий оказывает влияние на развитие различных сфер нашей жизни. Сокращение времени и стоимости выполнения задач при повышении качества конечного результата обуславливает все более широкое применение данных технологий.

В строительстве создание эскизов, чертежей зданий и проектной документации выполняется в электронном виде. В последнее время активно внедряются BIM-технологии, что выводит процесс проектирования зданий на новый уровень. Однако при возведении зданий строительные технологии не претерпели столь радикальных изменений, и доля ручного труда составляет значительную часть.

Существующая аддитивная технология 3D-печати из пластика и полимеров, в основу которой положен принцип послойного формирования специальным принтером объемного элемента, позволяет создавать изделия различного назначения – от сувениров до небольших деталей. В зависимости от компоновки приводов существуют 3D-принтеры порталного типа, с дельта-приводом и принтеры-манипуляторы [5]. Положи-

тельный опыт, полученный при 3D-печати небольших изделий, и поиск решений по автоматизации в строительстве привел к созданию строительных 3D-принтеров.

Как правило, в строительстве применяются принтеры порталного и манипуляторного типа. Портальный принтер представляет собой пространственную конструкцию с перемещающейся направляющей и печатающей головкой. Печать выполняется внутри контура принтера. К особенностям данных принтеров можно отнести то, что для опоры вертикальных стоек принтера необходимо устраивать жесткие основания для обеспечения точности печати и строительная площадка должна иметь запас места для установки и работы принтера. Манипуляторный принтер может устанавливаться внутри строящегося здания и печать осуществляется за счет вылета манипулятора с печатающей головкой. Для него тоже необходимо прочное основание, но в этом качестве может выступать фундамент будущего дома и перекрытия в случае многоэтажного строительства. К преимуществам данного принтера можно отнести его

компактность. Одними из пионеров в этой области стали российские компании, производящие строительные 3D-принтеры [4].

Как и в случае с пластиками и полимерами, технология строительной 3D-печати заключается в послойной укладке строительной смеси узкими полосками и формировании объемных элементов. Материалом для печати, как правило, выступает мелкозернистый бетон на цементном вяжущем с различными добавками. Могут применяться смеси и на гипсовом вяжущем, глине или полимерных вяжущих. Основной технической особенностью технологии является то, что полоса материала формирует контур здания, т. е. печатающая головка принтера совершает полный оборот по периметру здания и затем начинает нанесение следующей полосы по аналогичной схеме. Важно, чтобы перед нанесением следующего, предыдущий слой не схватился полностью, чтобы произошло надежное сцепление между слоями. Согласно существующей нормативной документации в области строительной 3D-печати [2] связность слоев обеспечивается при когезионном отрыве, т. е. при испытании на растяжение разрыв образца должен быть по материалу, а не по границе двух слоев. Фактически напечатанный массив должен быть монолитным. При этом наносимый слой не должен оплывать сверх нормативных требований. Естественно, что какой-то минимальный оплыв слоя все равно будет, и этот момент необходимо учитывать при расчете расхода смеси.

Существуют два основных способа возведения зданий с помощью 3D-печати.

В первом случае отдельные элементы или модули здания печатаются в заводских условиях, а затем собираются на стройплощадке в единое целое. При данном способе можно формировать не только стены, но и отдельные объемные элементы или модули здания. В этом случае модуль может объединять в себе стены и основу кровли. Важным преимуществом способа является то, что при изготовлении можно обеспечить постоянство температурно-влажностного режима и исключить влияние погодных условий. Однако при изготовлении в заводских условиях необходимо наличие складов, где изделия будут храниться до набора отпускной прочности. Кроме того, для обеспечения наиболее полной загрузки оборудования необходимо, чтобы принтер был размеров, которые позволяют печатать в нескольких зонах, или следует предусматривать платформы, на которых можно перемещать готовый модуль для освобождения зоны печати под следующий элемент. Когда речь идет о создании нескольких зон для печати, то должны быть соответствующие размеры здания. Если создавать платформы, то они должны быть достаточно жесткими, чтобы готовое изделие не повредилось при перемещении. Естественно, что организация такого производства потребует серьезных финансовых вложений. Еще одним ограничивающим фактором будет необходимость создавать модули, размеры которых позволяют перемещать их по дорогам общего пользования, но в любом случае появляется необходимость перевозки и это приводит к дополнительным расходам. В связи с этими особен-

ностями по такому способу в основном производят изделия малых форм (лавочки, клумбы и т. п.).

Во втором случае печать производится на стройплощадке. При печати на строительной площадке отсутствует необходимость в производственном помещении и складах и значительно меньше логистическая нагрузка, связанная с перевозкой и монтажом объемных элементов. В этом случае необходимо перевозить только принтер. Принтеры порталного типа состоят из отдельных элементов, в разобранном виде компактны и спокойно перевозятся обычным грузовым транспортом. Манипуляторные принтеры сами по себе компактны и могут перевозиться в неразборном виде. Однако при данном способе печати большое влияние оказывают погодные условия, которые необходимо учитывать. Если существует большая вероятность дождя, то необходимо прервать процесс печати за несколько часов до его начала и на период его прохождения, поскольку при сильном дожде свежие слои, которые не набрали прочность, просто размоет. Конечно, можно устроить тент, но это приводит к дополнительным затратам и дешевле будет сделать технологический перерыв. При высоких температурах будет происходить интенсивное испарение влаги из смеси, что в значительной степени может повлиять на прочность готовой конструкции, поскольку цементу может не хватить воды для гидратации. В данном случае необходимо производить печать в утренние и вечерние часы и возможно предусматривать дополнительное увлажнение готовых конструкций.

На сегодняшний день 3D-печать применяется в основном для устройства стен, которые возводятся в качестве несъемной опалубки, пространство между внешними и внутренними стенками которой в дальнейшем заполняется легкими бетонами. Перекрытия, кровля и отделочные работы выполняются по классическим технологиям.

Несомненно, 3D-печать предлагает новую идеологию строительства, но пока объем зданий, возведенных по данной технологии, незначителен. В нашей стране технология применяется в малоэтажном строительстве, хотя есть оборудование, которое может возводить многоэтажные дома. Небольшая доля напечатанных зданий связана с тем, что у технологии есть сдерживающие факторы. На ее потенциал оказывают влияние существующие подходы к облику зданий, проектированию и физико-химические свойства применяемых материалов [4, 6]. Ребристая фактура стен может устроить не всех. Если производить выравнивающую отделку, то теряется весь экономический эффект от применения технологии. Кроме того, применяемые смеси на основе цемента должны схватиться и набрать прочность, для чего необходимо время. То есть напечатать стены здания можно относительно быстро, но для дальнейших операций необходимо выдержать технологический перерыв. Использовать смеси на основе гипса, который схватывается и набирает прочность быстрее смесей на цементном вяжущем, возможно только для печати внутренних стен. Но и в случае с гипсом, как правило, требуется ждать, чтобы прошло высыхание конструк-

ции. Для того чтобы значительно увеличилась скорость строительства, необходимы новые строительные «чернила», обладающие положительными физико-техническими характеристиками существующих и при этом моментально набирающие прочность при обеспечении монолитности конструкции. Использование же полимеров, с одной стороны, накладно, с другой стороны, они создают проблемы с точки зрения противопожарных требований.

Существующая нормативная документация [1-3] относится только к материалам для аддитивного строительного производства и соответственно регулирует не все аспекты строительной 3D-печати. В настоящий момент отсутствует нормативная документация, которая содержит требования к расчету и проектированию конструкций, создаваемых по аддитивной технологии. Существуют строительные решения, в которых используется несъемная опалубка, но в них опалубка, в силу своих физико-технических характеристик, не может являться силовой частью, в этой роли выступает сердечник, выполняемый из легких и тяжелых бетонов. Соответственно при расчете можно опираться на существующую нормативную документацию для бетонных и железобетонных конструкций. В качестве примера можно привести несъемную опалубку из пенополистирола. В случае с 3D-печатью используемый материал может частично или полностью выступать в качестве силового элемента, и не учитывать этого нельзя.

Основным новаторством 3D-печати является то, что цифровую модель здания можно воплотить в натуральном виде при минимальном участии человека, и это дает возможность сократить стоимость и улучшить качество строительства. Технологии 3D-печати, в отличие

от традиционных, позволяют без дополнительных затрат формировать стены различной конфигурации, что дает большие возможности для творчества архитектора уже сейчас и по мере своего совершенствования позволит реализовывать наиболее смелые замыслы, которые сейчас затруднительно или невозможно осуществить с помощью традиционных технологий.

Вполне обосновано можно сказать, что 3D-печать как своим развитием, так и примером окажет серьезное влияние на изменение строительных технологий и материалов.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р 59095-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Термины и определения / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Издание официальное. – Москва : Стандартинформ, 2020.
2. ГОСТ Р 59096-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Методы испытаний / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Издание официальное. – Москва : Стандартинформ, 2020.
3. ГОСТ Р 59097-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Технические требования / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Издание официальное. – Москва : Стандартинформ, 2020.
4. *Иноземцев, А. С.* Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве / А. С. Иноземцев, Е. В. Королев, Зыонг Тхань Куй // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – № 7 (118). – С. 863–876. – DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-8761
5. *Мухаметрахимов, Р. Х.* Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера / Р. Х. Мухаметрахимов, И. М. Вахитов // Известия КГАСУ. – 2017. – № 4 (42). – С. 350–356.
6. *Славчева, Г. С.* Строительная 3d-печать сегодня: потенциал, проблемы и перспективы практической реализации / Г. С. Славчева // Строительные материалы. – 2021. – № 5. – С. 28–36.

*А. Н. Чебан, Д. А. Фарстова*  
A. N. Cheban, D. A. Farstova

### *Способы борьбы с переувлажнением ограждающих конструкций в храмовых комплексах*

#### *Ways to combat water logging of enclosing structures in temple complexes*

**Ключевые слова:** храмовое зодчество, реставрация, дренаж, гидрозащита, инженерные системы, ливневая канализация, восстановление исторических зданий

**Keywords:** temple architecture, restoration, drainage, water protection, engineering systems, storm sewers, restoration of historical buildings

**Аннотация.** В настоящее время на территории Российской Федерации активно восстанавливаются и строятся православные храмовые комплексы. Проблема, с которой сталкиваются проектировщики, строители и служба эксплуатации, – переувлажнение наружных и внутренних ограждающих конструкций<sup>1</sup> в храмах. Авторы статьи рассмотрели исторические и современные методы борьбы с переувлажнением ограждающих конструкций, определив их эффективность и целесообразность применения в зданиях храмов.

**Abstracts.** Currently, Orthodox temple complexes are being actively restored and built on the territory of the Russian Federation. The problem faced by designers, builders and the maintenance service is waterlogging of external and

<sup>1</sup> Переувлажнение наружных и внутренних ограждающих конструкций – это увеличение влагосодержания в ограждающих конструкциях, что приводит к снижению теплозащитных свойств конструкций, образованию плесени, а также ухудшению микроклимата внутри помещений.