



СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ, ВОЗВЕДЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ 3D-ПЕЧАТИ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аддитивные технологии, энергоэффективность, экологичность, пассивный дом, 3D-печать, архитектура

И. Д. Лернер, магистрант кафедры «Архитектура», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.
Е. А. Сухинина, кандидат архитектуры, доцент СГТУ имени Гагарина Ю. А.

В условиях роста цен на энергоносители все чаще возникает потребность в энергонезависимости и экономичности при строительстве домов. В последнее время активнее стало развиваться новое направление в строительной индустрии – возведение зданий с помощью аддитивных технологий. Рассмотрим особенности формообразования зданий, возведенных с помощью 3D-печати, а также проанализируем на примере аналогов и основных положений стандарта пассивного дома способы повышения энергоэффективности зданий, возведенных с помощью аддитивных технологий.

История возникновения 3D-печати началась еще с 1980-х годов. Сначала печатались простейшие детали из пластика. Со временем данная технология развивалась и стала применяться для возведения малоэтажных домов. Первый напечатанный дом в России был сооружен компанией Apic Cor в 2014 году. Сегодня аддитивные технологии в строительстве – это послойное нанесение материала с помощью строительных принтеров или 3D-печать зданий из быстротвердеющей бетонной смеси.

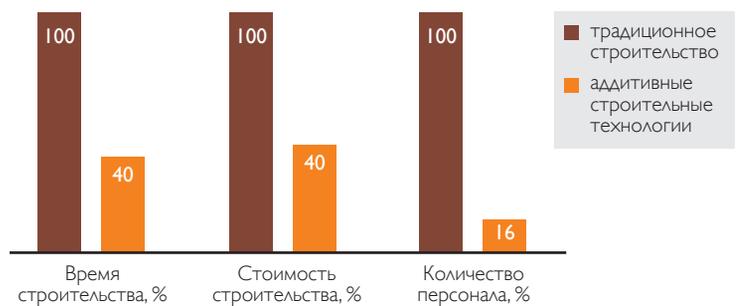


Рис. 1. Сравнение экономических показателей аддитивных технологий и традиционного строительства

#терминология

Аддитивные технологии (*additive manufacturing*) – метод создания трехмерных объектов, деталей или вещей путем послойного добавления материала: пластика, металла, бетона и др. Такие трехмерные, или 3D-объекты создаются с помощью 3D-принтеров.



Рис. 2. Строительство жилого поселка в Республике Татарстан

Новый способ возведения зданий постепенно становится все более востребованным по сравнению с традиционным, поскольку позволяет значительно сократить сроки сооружения зданий, экономить строительные материалы и использовать возможности повышения энергоэффективности компактных объемов (рис. 1). Помимо единичных объектов, возведенных с помощью аддитивных технологий, в России уже строятся целые поселки из домов, напечатанных на 3D-принтере (рис. 2).

При анализе формообразования напечатанных зданий (более 30 объектов) был выявлен ряд особенностей, влияющих на повышение их энергоэффективности. Архитектурная фирма SOM создала 3D-печатную структуру, которая генерирует собственную энергию и делится ею с сопутствующим транспортным средством, обеспечивая возможность автономной жизни.

- Национальная лаборатория США, спроектировала и возвела энергоэффек-

тивное здание с помощью аддитивных технологий. Здание, созданное архитектурной фирмой SOM, может быть прицеплено к автомобилю и во время движения генерировать электроэнергию с помощью встроенных солнечных панелей. Команда SOM продемонстрировала, как аддитивные технологии позволяют создать сложные бионические, параметрические формы и обеспечить эффективный энергосберегающий объем (рис. 3) [1].

- Экологический чистый дом TECLA (TEchnology CLAy) возведен из местной глины. Напечатанный дом состоит из двух куполов, дополняющих друг друга и вмещающих кухню-гостиную и спальню с небольшим туалетом. Здание может быть полностью автономным за счет применения систем рециркуляции дождевой воды и солнечных батарей. Задача авторов заключалась в создании экоустойчивой и энергоэффективной среды обитания (рис. 4) [2].

Способы повышения энергоэффективности зданий

Определено, что особое внимание следует уделять объемно-планировочному, конструктивному решению оболочки, выбору материалов, организации благоприятного микроклимата и комфортной среды для жизнедеятельности. Сравним способы повышения энергоэффективности зданий, напечатанных на 3D-принтере, и основных требований стандарта пассивного дома [2].

Теплоизоляция

Технология возведения стен при помощи 3D-печати предусматривает внутренние полости, то есть сопло (деталь строительного 3D-принтера, откуда выходит бетонная смесь) 3D-принтера экструдирует бетонную смесь по внешнему контуру стен, соединяя их горизонтальными раскосами.



Рис. 3. Энергоэффективная структура SOM (бюро SOM-designed)



Рис. 4. TECLA (авторы: Mario Cucinella Architects и WASP)

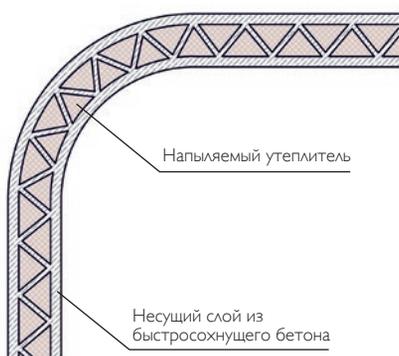


Рис. 5. Схема плана напечатанной на 3D-принтере стены (в разрезе)

Конструкция из двух поясов и фермы обеспечивает устойчивость к высоким нагрузкам. Пустые пространства между горизонтальными раскосами возможно использовать для заложения теплоизолирующего материала. Для полного заполнения полостей отлично подходит утеплитель напыляемого типа (рис. 5).

Традиционные утеплители, такие как минеральная вата или пенополистирол, неэффективны для заполнения пустот из-за возможности возникновения конденсата вследствие неполного охвата объема полостей. А если говорить про облицовку внешнего контура, то в технологии 3D-печати в основном используется сложное формообразование

элементов и конструкций. На изогнутые линии фасада достаточно сложно закрепить минвату или пенополистирол с дальнейшей отделкой.

Энергоэффективные окна

В объекты, возведенные с помощью аддитивных технологий, возможно внедрение оконного блока практически любой формы, отвечающего требованиям энергоэффективности.

В пассивном доме должны использоваться усовершенствованные энергосберегающие окна – герметичные стеклопакеты (однокамерные или двухкамерные), с заполнением межстекольного пространства низкотеплопроводным газом, например аргон. Рекомендуется применять более теплостойкие многокамерные профили.

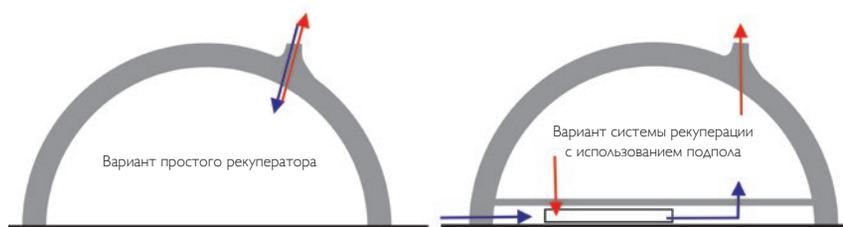


Рис. 6. Схемы внедрения системы приточно-вытяжной вентиляции в здании, напечатанное на 3D-принтере

Иногда для дополнительной теплоемкости используются конструкции в виде рольставней и жалюзи, для которых возможно выделение пространства в конструкциях стен.

Рекуперация тепла, совмещенная с вентиляцией

Для повышения энергоэффективности необходимо обеспечить высокое качество воздуха; исходя из этого, одним из ключевых элементов пассивного здания является система вентиляции. При любых погодных условиях следует обеспечивать требуемое качество воздуха, избегая при этом избыточного воздухообмена, приводящего к неоправданному перерасходу тепловой энергии на подогрев (или охлаждение) сверхнормативного объема приточного воздуха [3].

В энергоэффективных зданиях применяются герметичные стеклопакеты, которые не предоставляют возможности естественного проветривания. Соответственно, обмен воздуха происходит за счет приточно-вытяжной вентиляции в помещении, через установку рекуператоров тепла.

Дополнительной энергоэффективности можно добиться за счет внедрения подземного воздуховода: зимой воздух входит в подземный воздуховод, нагреваясь за счет тепла земли, затем поступает в рекуператор, а в нем же отработанный домашний воздух нагревает поступивший свежий и уходит на улицу. В летнее время года система работает по такому же принципу. Данную установку возможно внедрить в специальные ниши и сложные пространства, чтобы не занимать полезную площадь и объем помещений (рис. 6).

Система рекуперации поддерживает комфортный микроклимат в помещениях и снижает расход энергии на отопление и кондиционирование.

Материалы и конструкции

При использовании аддитивных технологий применяется в основном быстросохнущая бетонная смесь, природное или вторсырье (рис. 7). Бетонная смесь состоит из нескольких компонентов: бетонный порошок, фибра (для армирования), вяжущий материал и химические элементы для ускорения скорости схватывания и формирования бетона. В технологии 3D-печати зданий часто используют переработанное вторичное сырье из отходов строительного мусора. К примеру, железобетонные отходы направляют в дробильную установку, где с помощью магнитного отделителя вылавливаются металлические изделия. На выходе получается бетонный порошок, в который добавляются вяжущие материалы для дальнейшего экструдирования в строительных 3D-принтерах [4]. Существуют примеры использования 3D-печати из глинобитных материалов. Для армирования добавляют элементы фибры, например переработанную солому.

Компактность, герметичность и замкнутость контура

С помощью аддитивных технологий возводится целостная конструкция здания, в которой отсутствуют швы, тем самым объем представляет собой замкнутый контур по периметру. Дом с наименьшей площадью поверхности стен имеет более высокую экономию энергии, но существуют и другие методики оптимизации формы [5].

При традиционном строительстве зачастую проектируется сложная форма плана с выступающими или западающими формами, в то время как в аддитивных технологиях почти всегда возводится компактный объем. Это связано с ограниченностью полотна 3D-принтера (рис. 8).

При использовании таких строительных материалов, как кирпич или блоки, в кладочных швах часто возникают мостики холода. Наружная теплоизоляция до определенной степени решает данную проблему, но потери части тепла неизбежны. При использовании технологии 3D-печати наружные ограждающие и несущие конструкции стен не имеют кладочных швов из-за использования монолитной быстросохнущей смеси. Острые угловые стыки от-

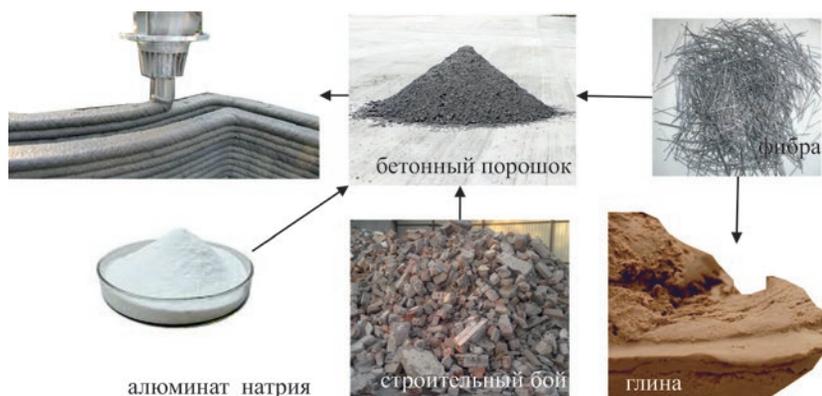


Рис. 7. Вторичные материалы для 3D-печати зданий

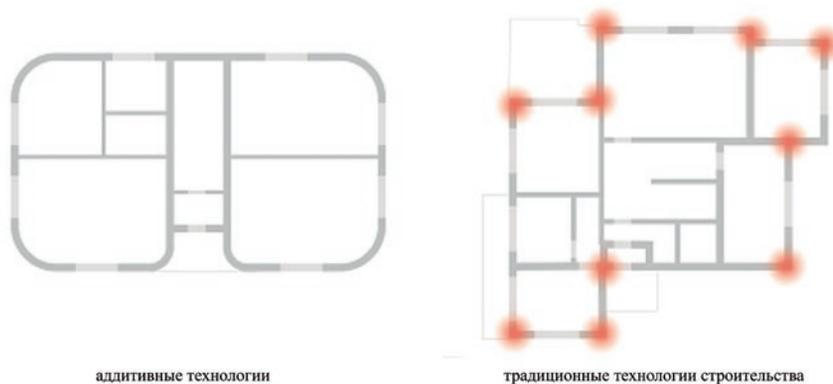


Рис. 8. Сравнение планировок здания, напечатанного на 3D-принтере, и традиционного дома

сутствуют либо полностью состоят из бетонной смеси. При использовании пластичного сырья конструкции стен возможно объединять с конструкциями пола, а перекрытия с покрытиями.

В процессе исследования были рассмотрены пять основных положений стандарта пассивного дома, которые возможно применить в зданиях, возведенных с помощью аддитивных технологий.

Технология 3D-печати позволяет значительно повысить энергоэффективность и экологичность здания за счет:

- компактности и замкнутости формы;
- особой конструкции стены, герметично соединенной с покрытием и перекрытием;
- внедрения специального утеплителя, заполняющего пустоты внутри конструкции;
- энергоэффективных окон, внедряемых в любую форму;
- вторичных материалов и безотходного процесса строительства.

Многообразие возможностей формообразования способствует эффек-

тивному внедрению альтернативных источников энергии (солнечных батарей, ветровых установок и т. п.) без ущерба для полезного пространства и архитектурного облика объекта.

Литература

1. SOM. <https://www.som.com/news/oak-ridge-national-laboratory-unveils-som-designed-3d-printed-building-powered-by-a-car/> (дата обращения: 25.04.2023).
2. 3D-wasp. <https://www.3dwasp.com/casa-stampata-in-3d-tecla/> (дата обращения: 25.04.2023).
3. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Пассивные многоэтажные здания // Здания высоких технологий. 2013. Т. 2, № 2. С. 12–21.
4. Сухинина Е. А. Строительство зданий из вторичного сырья с учетом требований экологических стандартов // Вестник МГСУ. 2021. № 2. С. 186–201.
5. Бродач М. М. Метод теплоэнергетической оптимизации формообразования здания // АВОК. 2017. № 6. С. 70–75. ■