

DOI: 10.12737/article_5926a0596fbac2.77621545

Алексанин А.В., канд. техн. наук, доц.,
Маркевич А.И., студент

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ

aleks08007@mail.ru

Развитие научно-технического прогресса способствует совершенствованию старых и появлению новых технологий строительства зданий и сооружений. В представленной статье рассматривается технология 3D печати и перспективы ее применения в строительной отрасли, приводятся реальный опыт некоторых компаний по возведению зданий с помощью 3D принтеров. Одними из основных особенностей строительного производства являются материалоемкость, длительные сроки производства работ, воздействие на окружающую среду. Использование 3D технологии может способствовать решению этих вопросов. Отдельное внимание в статье уделяется преимуществам 3D технологии над традиционными методами строительства. Строительство объектов с помощью 3D принтеров обладает большим потенциалом за счет снижения стоимости и повышения качества продуктов строительства, сокращения сроков производства работ, а также высокой степени автоматизации строительных процессов.

Ключевые слова: технология строительства, 3D технология, эффективность, 3D печать.

Введение. На сегодняшний день технический прогресс коснулся многих отраслей материального производства, в том числе и строительства. Для удовлетворения современных потребностей человека при условии защиты окружающей среды, строительная отрасль должна внедрять в свое производство современные методы и технологии [1–5]. Перспективным организационно-технологическим решением представляется использование технологии 3D печати при строительстве зданий и сооружений. История 3D печати началась в 1986 году с изобретения SLA-установки. Она была разработана и запатентована Чарльзом Халлом и использовала технологию стереолитографии. В современном понимании установка еще не являлась первым 3D-принтером, но именно она определила основной принцип работы 3D-принтера: послойное наращивание объектов.

Основная часть. В строительстве 3D технологию начали применять с 2014 года, и первой организацией, которая «напечатала дом», стала китайская компания «WinSun». Сначала она анонсировала строительство за 24 часа десяти 3D-печатных домов площадью по 200 м², сделанных из бетона с помощью гигантского принтера. Впоследствии компанией «WinSun» был напечатан пятиэтажный дом и вилла площадью 1100 м². Для воплощения этого проекта команда инженеров создала принтер следующих габаритов: высота 6,6 метра, ширина 10 метров, длина 40 метров. Здания печатались блоками и собирались на месте, что очень похоже на панельное домостроение [6]. Наравне с положи-

тельными особенностями выделяют следующие недостатки данного принтера:

- работа в прямоугольных системах координат;
- перемещение по рельсовым направляющим, которые требуют ровной поверхности для установки;
- из-за сложной конструкции, установка целесообразна только на заводе;
- ограничения по площади и высоте печати.

В 2017 году инновационно-технологическая компания «Cazza», которая базируется в Объединенных Арабских Эмиратах, планирует использовать 3D-принтеры собственной разработки при строительстве небоскреба в Дубае. Используется технология «крановой печати», которая позволяет возводить объекты высотой 80 м и более при помощи установки дополнительных секций у таких кранов. Однако, о полном переходе на строительство небоскребов подобным образом речи пока не идет, так как специальные краны будут печатать только отдельные конструктивные части будущего небоскреба.

В 2016 году в Московской области прошла презентация нового 3D принтера от компании «Apis Cor». На территории бетонного завода в городе Ступино был установлен принтер, и за 24 часа напечатан одноэтажный дом с площадью стен 37 м². Представленный принтер обладал следующими характерными особенностями: мобильность, небольшие габариты, легкость транспортировки и минимум времени на подготовку к использованию [7].

В общем случае, при проектировании стен жилых и общественных зданий, формируемых методом трехмерной печати с применением оборудования компании «Apis Cor», необходимо учитывать следующие требования и ограничения:

1. Высота стен ограничена конструктивными особенностями оборудования и составляет не более 3,3 метра. Если требуется изготовить конструкцию большей высоты, то часть конструкции, превышающей 3,3 метра, необходимо распечатать отдельно, и с помощью крана смонтировать на основную конструкцию.

2. Расчет несущей способности наружных и внутренних стен необходимо определять с учетом их совместной работы.

3. Здания рекомендуется проектировать с продольными и поперечными несущими стенами.

4. Толщина стен и их структура должны удовлетворять соответствующим требованиям по тепло- и звукоизоляции.

5. В местах примыкания к цоколю и/или фундаменту стены должны быть гидроизолированы.

6. Толщина стен должна назначаться с учетом требуемого сопротивления теплопередаче и несущей способности стен.

7. Расстояние между осями поперечных стен должно быть не более 9 м, а продольных – не более 7,2 м.

8. При устройстве многокамерной стены с перемычкой из гибких связей их количество не должно быть менее 4 шт/м., диаметр используемых гибких связей должен быть не менее 8 мм.

9. Размеры элементов стен, имеющих проемы, должны назначаться по результатам соот-

ветствующих расчетов, а также с учетом архитектурно-планировочных решений.

Компанией «Apis Cor» выявлены преимущества использования технологии строительства зданий методом 3D печати:

10. Снижение затрат на транспортировку строительных материалов на площадку в 3,7 раза. Для печати 1 м³ стены необходимо 0,267 м³ строительной смеси, т.е. 1 м³ любых блоков при формировании стены методом 3D печати заменяется 0,267 м³ строительной смеси.

11. Увеличение скорости строительства вертикальных ограждающих конструкций до 6 раз. Расчетный показатель скорости кладки без армирования составляет 3,56 чел/часа на 1 м³ газобетонных блоков. 3D принтер формирует 1 м³ стены толщиной в 333 мм за 0,85 маш/часа. При этом этот показатель постоянен и не колеблется от машины к машине, а также не зависит от сложности геометрии строительной конструкции.

12. Снижение затрат на материалы в 2,8 раза. Расчетная стоимость 1 м³ стены из газоблока толщиной 400 мм с мокрым фасадом и утеплением пенополистеролом, в том числе с учетом стоимости блоков, клея, штукатурки, утеплителя и других материалов, а также стоимости работ по кладке, оштукатуриванию, устройству фасада с теплоизоляцией составляет 4445 р., а стоимость напечатанной стены 3D принтером «Apis Cor» аналогичной по теплозащитным характеристикам, внешнему виду и несущей способности составляет 1556 р.

В табл. 1 компанией «Apis Cor» показано экономическое сравнение технологии строительства здания методом 3D печати и традиционным методом.

Таблица 1

Экономическое сравнение технологии 3D печати и традиционных методов

Стена толщиной 400 мм из газоблока с мокрым		Стена, сформированная 3D-принтером Apis Cor, толщиной 400 мм	
Газоблок	3500 р/м ³ · 0,4 м ³ = 1400 р	Бетон для 3D печати	0,114 м ³ · 9000 руб./м ³ = 1026 р
Кладка газоблоков	1300 руб./м ³ · 0,4 м ³ = 520 р	Пеноизол	0,1 м ³ · 2500 р/м ³ = 250 р
Штукатурные работы	600 р	Работа оператора	500 р/час · 0,34 час = 170 р
Устройство мокрого фасада, в том числе материалы	1925 р/м ²	Гибкие связи	4 шт · 30 р = 120 р
Итого стоимость	4445 р	Итого стоимость	1566 р
Итого время	3 часа	Итого время	30 минут

Выводы. Благодаря использованию технологии 3D печати можно повысить эффективность строительства за счет:

1. Отказа от традиционных архитектурных форм, технология 3D печати предоставляет больше свободы архитекторам и дизайнерам в плане создания интересных проектов.

2. Автоматизации технологического процесса и сокращение сроков строительства [8, 9].

3. Снижения затрат на материалы за счет исключения некоторых процессов, присутствующих в традиционном методе строительства [10–13].

4. Минимизации образования мусора на строительной площадке, что благоприятно сказывается на экологической обстановке [14, 15].

На сегодняшний день можно выделить следующие перспективы развития 3D печати:

1. Внедрение технологии в жилищное строительство, что позволит снизить высокие цены на жилье.

2. Применение в масштабных проектах, так как строительство при помощи 3D технологий позволит снизить сроки строительства и повысить качество выпускаемой продукции.

3. В будущем возможна полная автоматизация строительного процесса, и 3D печать - это только первая ступень в этом направлении, так как на данный момент еще не решены вопросы с возведением кровли, гидроизоляции, внутренней и внешней отделкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексанин А.В. Перспективные направления развития организации строительства // Научное обозрение. 2015. № 10-1. С. 378–381

2. Алексанин А.В. Организационные возможности снижения вредного воздействия на окружающую среду в строительной сфере // Научное обозрение. 2016. № 13. С. 258-262.

3. Kothman I., Faber N. How 3D printing technology changes the rules of the game: Insights from the construction sector // Journal of Manufacturing Technology Management. 2016. Vol.27. Pp. 932–943

4. Алексанин А.В., Сборщиков С.Б. Оценка экономической эффективности использования новых технологий, материалов и решений в проектах по энергосбережению // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 164.

5. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В., Жаров Я.В. Теоретические основы многомерного моделирования устойчивого развития инвестиционно-строительной деятельности // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 165–171.

6. Официальный сайт компании «WinSun» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.yhbm.com/index.php?a=lists&c=index&catid=67&m>

=content (дата обращения 28.03.2017)

7. Официальный сайт компании «Apis Cor» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.apis-cor.com> (дата обращения 28.03.2017)

8. Шувалов Н.Е. Целесообразность 3d печати в малоэтажном строительстве // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 11 (67). С. 190–192.

9. Сембаев Б.Н., Билялова С.А. Применение 3d печати в строительстве // Электронный научный журнал. 2016. № 10-3 (13). С. 279–282.

10. Сборщиков С.Б., Шинкарева Г.Н. Развитие инжиниринга как фактора интенсификации инвестиционно-строительной деятельности // Научное обозрение. 2016. № 13. С. 13–17.

11. Y. W. Tay, B. Panda, S. C. Paul, M. J. Tan, S. Z. Qian, K. F. Leong, C. K. Chua. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing // Materials Science Forum. 2016. Vol. 861, pp. 177–181.

12. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В. Влияние случайных факторов на траекторию устойчивого развития инвестиционно-строительной деятельности на уровнях иерархии // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 162–170.

13. Журавлев П.А., Ключев В.Д., Евсеев В.Г. Использование квалиметрического подхода для оценки конкурентоспособности инвестиционных строительных проектов // Научное обозрение. 2014. № 9. С. 637–640.

14. Сборщиков С.Б., Свиридов И.А. О повышении эффективности ликвидации ветхого и аварийного жилья // Научное обозрение. 2016. № 22. С. 17–21.

15. Алексанин А.В., Сборщиков С.Б. Создание регионального механизма централизованного управления строительными отходами // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 229–235.

Aleksanin A.V., Markevich A.I.

THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS

The development of scientific and technological progress contributes to the improvement of old and the emergence of new technologies for the construction of buildings and structures. In the presented article the technology of 3D printing and prospects of its application in the construction industry is considered, real experience of some companies on building buildings with the help of 3D printers is given. One of the main features of the construction industry are material consumption, long terms of production, impact on the environment. Using 3D technology can help address these issues. Special attention is paid in the article to the advantages of 3D technology over traditional construction methods. The construction of objects with the help of 3D printers has great potential due to the reduction of the cost and quality of construction products, the reduction in the terms of production, as well as the high degree of automation of construction processes.

Key words: *technology of construction, 3D technology, efficiency, 3D printing.*

Александр Александр Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации и управления в строительстве.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.

E-mail: aleks08007@mail.ru

Маркевич Алексей Игоревич, студент.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.