

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ РЕШЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

**Балагезов Ахмед Мамед оглу-** к.т.н., доцент, кафедра Технология, организация и управление строительным производством, АзАСУ, ebelegozov@mail.ru

**Байрамов Расим Гасым оглу-** к.т.н., доцент, кафедра Технология, организация и управление строительным производством, АзАСУ, bayramovrasim46@hotmail.com

**Аннотация.** В современном строительстве мира и, в частности, нашей республике основной проблемой в процессах выполнения строительного-монтажных работ является их тесная связь с огромным количеством ручного труда. Такое состояние работ на строительном производстве не только замедляет темпы проведения этих работ, но и влечет за собой дополнительные расходы строительных ресурсов. Установлено, что применение строительных 3D-принтеров в строительной отрасли поможет решить существующие проблемы, а также позволит вывести сферу строительства объектов на новый уровень. В статье представлен опыт внедрения по аддитивным технологиям 3D-принтера в мировой практике строительства. Показаны преимущества и недостатки 3D-информационного моделирования, основные направления внедрения и подходы выполнения строительных процессов конструктивных элементов здания различного назначения. Целью данной научной работы является определение существующих возможностей развития строительных решений 3D-принтеров на мировом уровне строительства и возможности применения их для перспективы активизации, планируемых решений по строительным комплексам регионов Карабах.

**Ключевые слова:** 3D-принтер, 3D-печать, 3D-технологии, экструзия, сухие смеси

## PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION OF BUILDINGS WITH THE SOLUTION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION COMPLEX

**Balagozov Ahmad Mammad**– PhD in tech.sc., department of Technology, organization and management of construction production, AzUAC, ebelegozov@mail.ru

**Bayramov Rasim Gasim**– PhD in tech.sc., department of Technology, organization and management of construction production, AzUAC, bayramovrasim46@hotmail.com

**Abstract.** In modern construction of the world and, in particular, our republic, the main problem in the process of construction and installation works is their close connection with a huge amount of manual labour. This state of construction not only slows down the pace of these works, but also entails additional costs for construction resources. It has been found that the use of construction 3D-printers in the construction industry will help to solve existing problems, as well as to allow bringing the sphere of construction to a new level. The article presents the experience of introducing 3D printer additive technologies in global construction practice. The article shows advantages and disadvantages of 3D-information modelling, main directions of introduction and approaches of construction processes of structural elements of a building for various purposes. The purpose of this scientific work is to determine the existing opportunities for the development of construction solutions 3D-printers at the world level of construction and the possibility of using them for the prospect of activation, the planned solutions for the construction complexes of the regions of Karabakh.

**Keywords:** 3D Printer, 3D Printing, 3D Technology, extrusion, dry Blends

**Введение.** При современном состоянии строительной индустрии, в отношении учета наукоемких современных технических и технологических решений наиболее востребованными являются инновационные решения. На сегодняшний день существует множество приоритетных направлений развития строительной отрасли (для примера укажем несколько из них: производство строительных материалов, в сфере высотного строительства, использование возобновляемых природных ресурсов типа солнечной энергии, использование жидких обоев в отделочных работах и т.п.) в частности принятие и изучение опыта внедрения и использования решений трехмерного моделирования 3D-технологий в строительстве нашей республики и в частности, регионах Гарабаха. На этот факт идеи обоснование и дается анализ использования 3D-принтера в строительстве мировой практики [1,2,3,4,5]. Этот метод целесообразно использовать также для локального восстановления жилья и освоения новых земель под строительство.

Наша республика за кратчайший срок может стать пионером этого строительного направления в Закавказье, т. к. принятое инновационное направление развития строительной отрасли является процессом постоянным и непрекращающимся.

**Обзор литературы.** В настоящее время здания, построенные с помощью 3D-принтера есть в России, Китае, США, Германии, Италии, Мексике, Турции, ОАЭ, Нидерландах и других странах мира [1, 6-10].

Среди строительных 3D-принтеров различают три типа устройств [5]: порталные, типа «дельта» и роботизированные. Портальные 3D-принтеры представляют собой конструкцию из рамы, порталов (3 шт.) и печатающей головки. При помощи таких устройств можно печатать здания целиком или по частям, только если они помещаются под аркой принтерного устройства.

Устройство типа «дельта» может печатать гораздо сложные здания (или сооружения и фигуры) так как такие устройства не зависят от трехмерных направляющих.

**Постановка задачи и методы решения.** Роботизированные принтерные устройства оснащены роботами типа промышленного манипулятора, оснащенных экструдерами и управляемые компьютером. Строительный 3D-принтер устройство с числовым программным управлением, реализующий аддитивные операции, то есть только добавляющий порции готовой смеси материала к заготовке, где используют метод послойной печати конструктивного элемента здания (например, стена или каркас здания). 3D-принтер оснащен экструдером, то есть печатающая головка устройства, которая обеспечивает равномерную подачу материала к месту укладки (например, стена), причем из самых разных материалов (продукции) – из глины, земли, отходов производства, бетона или гипса (рис.1.).

Строительные 3D-принтеры используют технологию экструзии, т.е. путем нанесения продукта (бетон, раствор и т.д.) слой за слоем по вертикали конструктивного элемента зданий (например, стена). Эта используемая продукция пастообразного типа, что проталкивается через насадки (экструдер) слоями для печати зданий [6, 11]. В настоящее время по такому принципу в мировой практике работают 13 основных видов 3D-принтера: принтеры «AMT» (Россия), «BetAbram» P1 и COBOD BOD2 (Словения), «Constructions-3D 3D Constructor» (Франция), Cybe Construction Cybe RC 3Dp (Нидерланды), «ICON» «Vulkan II» (США), «Stroybot 2» (США), «WASP Crane» «WASP infinity 3D Printer» (Италия), «Apis Cor 3D printer» (США), «Batiprint 3D 3D printer» (Франция), «S-Squared ARCS VVS NERTUNE» (США), «Contour Crafting 3D printing system» (США) и «Xtreet 3D printer» (Франция).

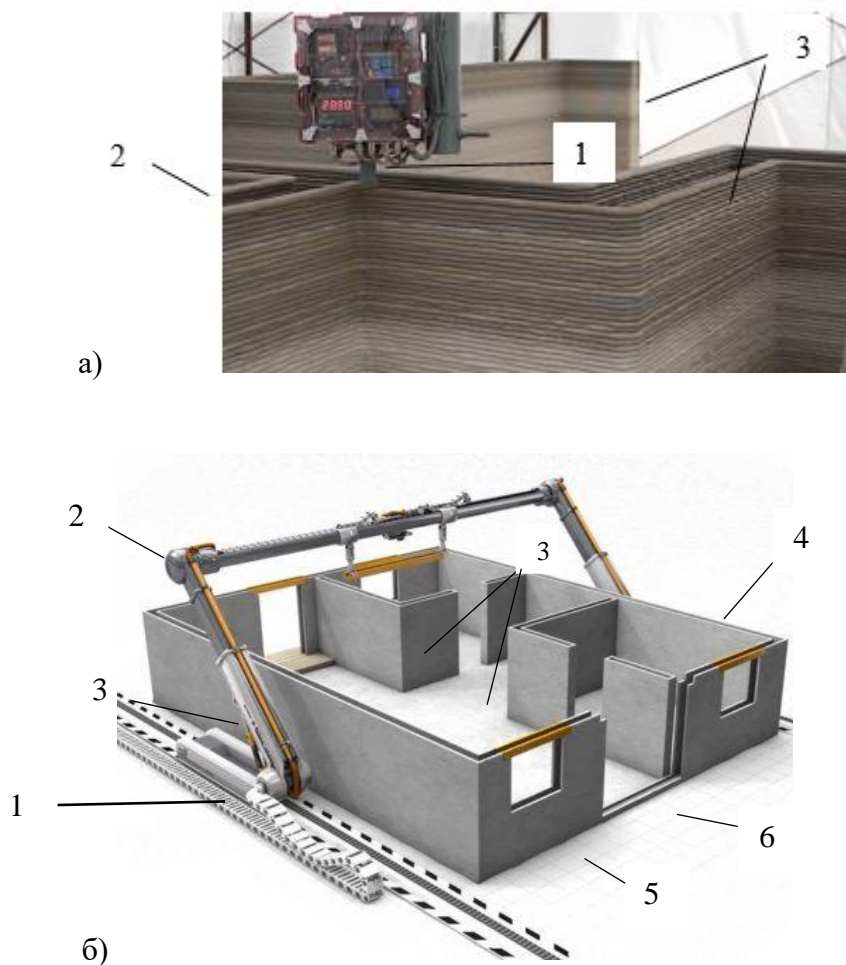
Обычно строительный 3D-принтером управляют 2 человека:

- один оператор управляет принтерной установкой;
- один рабочий готовит смесь для работы принтера.

В среднем эти установки способны укладывать стены со скоростью 2,5 куб.м/час - это порядка 25 кв.м однокамерной стены [6]. При укладке бетона принтерное устройство не обеспечивает прочность бетона конструктивного элемента здания (например, стены), он выполняет только то, что заложено в программе принтера по производству работ.

Применение цифрового моделирования в строительстве по идее и по способу работы в корне отличается от традиционной. В Китайском строительном секторе такая технология называется Fused Deposition Modeling (FDM) – моделирование методом осаждения нити [7]. Где строительный 3D-принтер в своей работе использует технологию экструдирования, при которой каждый новый слой строительного материала выдавливается из принтера поверх предыдущего слоя по заложенному программой контуру выращивая стены здания по вертикали с определенной скоростью. И так, в Шанхае (Китай) за сутки возвели десять 3D-печатных домов каждый площадью в 200 кв.м, в то время как новые строительные материалы компанией Winsin использовали строительные отходы и отвалы. В смеси добавили модифицированные добавки – гиперпластификаторы, ускорители твердения и фибру.

В настоящее время в мире строительство находится на пороге технической революции, которая запустила строительный 3D-принтер. Где трехмерный принтер позволяет всего за 1 сутки создать квартиру-студию площадью 32 кв.м [2]. Отметим, что основная производственная база современного традиционного строительного производства в том, что от них после завершения строительства объекта остается огромное количество отходов, в частности строительный мусор, камни, конструкции, детали, упаковки, обломки, электроды, арматуры и т.п. При применении строительных 3D-принтеров эти и неотмеченные другие виды отходов почти отсутствуют, так как при использовании 3D-принтера они не образуются, т.е. безотходный метод.



**Рис. 1.** Процесс строительства фрагмента стены 3D-принтером (а) и готовый каркас (б) дома построенный за 2 суток: 1 – печатающая головка установки (экструдер); 2 – наносимый слой смеси поверх предыдущего; 3 – готовые стены; 4 – портал установки [8, 9]

Первый жилой дом в 2017 году отпечатали в подмосковном Ступино (Россия) на строительном принтере Aris Cor с площадью 38 кв.м, стоимостью 593568,19 руб. (порядка 14840 ман.). За 24 часа чистого машинного времени принтера, а все работы по строительству дома заняли ориентировочно два месяца [3]. Согласно оценкам [4], дом в 3D стоит на 30-55% дешевле, чем такой же традиционный дом. Можно отметить, что производство дома Aris Cor обходится менее чем в 10 000 долларов, а компактный дом ICON состоит даже менее 4000 долларов, т.е. стоимость объекта зависит от фирмы (компании) и от видов принтерных устройств. В силу этого мнения отметим, что стоимость дома на 3D-принтера из расчета 1 кв.м составляет в среднем 75 долларов, тогда как 3D-принтера Aris Cor House она составляет примерно 27 долларов [4].

**Результаты и анализ.** Средняя скорость печати современного строительного принтера составляет от 7...9 кв.м в минуту. В силу такого темпа строительства при использовании S-300 (Россия) принтера время вывода объекта на эксплуатацию в 1,5 раза снижается по сравнению с традиционными методами строительства.

Следует обратить внимание на новые горизонты, изучая возможности применения строительных 3D-принтеров в контексте концепции «умный» дом (Smart House), следует рассматривать как комплексную программу (выбор типа принтера, материаловеденческих решений, технологии и организационных методов), увязывающую все составляющие современного дома (поселка), его системы и элементы, включая технологические, экономические, экологические, функциональные и человеческие факторы.

До сих пор идеальная формула бетонных смесей пока не разработана, несмотря на то, что в мировой практике строительства имеется большой опыт по созданию в оптимальной смеси для строительства для 3D-принтеров.

Для уменьшения оплывания слоев смеси следует оптимизировать состав бетонных смесей с учетом местных условий строительства [1]. При этом, необходим комплексный подход к разработке рецептуры сухой смеси на научно-практической основе. Положительные стороны строительной 3D-принтеров:

- позволяет уменьшить влияние человеческого фактора и может за кратчайший срок кардинально изменить рынок недвижимости;
- снизить расходы строительных материалов;
- безотходное строительное производство: 3D-принтер установки производят гораздо меньше отходов так как смеси по запросу печатаются;
- уменьшить сроки строительства;
- 3D-принтеры могут строить доступное жилье, т.е. оказывая большую помощь людям в бедных регионах стройматериалами, после стихийных природных бедствий и после окончания в регионах военных действий;
- из заграницы на первых порах можно взять в лизинг оборудование 3D-принтера на основании требуемого запроса. Основные отрицательные стороны 3D-принтеров:
- переход на такой метод усилить безработицу;
- 3D-принтеры строят только каркасы домов, и установка приостанавливается чтобы работы докончить по возведению крыш, отдельные и специальные работы;
- внешний вид домов грубый, т.е. не такая гладкая как у традиционных домов, что регулируется нормативными документами. В силу этих признаков использование 3D-принтера может быть затруднительно, т.е. отсутствие пока сертификации (нормативных документов), чтобы строительные нормы способствовали достижению социально значимых целей. Грамотное решение вопросов организации работ приводит к увеличению производительности установки 3D-принтера:
- в первую очередь следует возводить подземную часть ( $\pm 0,00$  отметки) всех домов комплекса, поселка, городка;
- установка строительного 3D-принтера (может в потоке участвовать 2 и более установок) на первой площадке фундамента здания; после завершения печати установку следует перебросить на другие объекты по очереди;

- бригаду рабочих распределять по объектам по график-плану;  
-устройство фундаментальной части зданий и работы (бетонирование перекрытия и покрытия, установка дверных и оконных блоков, установка крыш, отделочных и санитарно-технических работ) до и после работы машины 3D-принтера.

### **Выводы.**

1. При помощи строительных 3D-принтеров можно строить поселки, индивидуальные дома, виллы, коттеджи, коммерческие объекты, общепиты, остановки, фотографии, словом вся инфраструктура поселка или городка.
2. 3D-принтеры в основном стационарны, легко транспортируются на стройплощадку и имеют универсальные возможности визуализации
3. В настоящее время строительство находится на пороге революции, которую запустил 3D-принтер. Отметим, что трехмерный принтер позволяет всего за 1 сутки создать квартиру-студию площадью 32 кв.м.
4. Преимущества 3D-принтера домов: доступность, масштабируемость, экономичность, эффективность и гибкость дизайна, что характеризует категории «умный» дом.
5. С помощью 3D-принтера можно легко задавать изогнутые стены домов взамен традиционной прямоугольной.
6. Для обоснованного внедрения 3D-технологии в практику строительства необходим комплексный подход к разработке рецептуры сухих составов на научной основе с учетом местных условий республики.
7. При помощи государственной заинтересованности требуется создать координационный центр по внедрению и координированию возможностей аддитивных технологий 3D-принтера при возведении домов и сооружений различного функционального назначения по нашей республике
8. Для повышения производительности установки 3D-принтера открываются возможности ведения строительства уже заранее готовых на фундаментальных площадках (например, ±0,00) поочередно, что создает условия ввода рабочих для выполнения остающихся немашинных работ строительства.

### **Литература**

1. Bələgözov Ə.M. Monolit və yığma-monolit dəmir-betondan bina və qurğuların tikintisinin texnologiyası. Bakı: Çarşıoğlu, 2011
2. Демиденко А.К., Кулибаба А.В., Иванов М.Ф. Перспективы применения 3D-печати в строительном комплексе Российской Федерации//Строительство уникальных зданий и сооружений, №12 63с.71-96р, 2017
3. Лесовик В.С., Чернышова Н.В., Глаголев Е.С. и др. 3D-аддитивные технологии в сфере строительства. Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Москва, 2016
4. [https://www.zaggo.ru/article/stroitel\\_stvo/obshee/doma\\_napechatannye\\_na\\_3d\\_printere\\_kak\\_ih\\_stroyat\\_i\\_pochemu\\_im\\_prorochat\\_bol\\_shoe\\_budushee\\_7\\_real\\_nyh.html](https://www.zaggo.ru/article/stroitel_stvo/obshee/doma_napechatannye_na_3d_printere_kak_ih_stroyat_i_pochemu_im_prorochat_bol_shoe_budushee_7_real_nyh.html)
5. [https://www.gazeta.ru/tech/2021/03/15/13511930/mighty\\_buildings.shtml](https://www.gazeta.ru/tech/2021/03/15/13511930/mighty_buildings.shtml)
6. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschie-technologicheskikh-resheniy-3d-pechati-v-stroitelstve>
7. <https://top3dshop.ru/>
8. <https://epo3d.com/ru/>
9. <https://fundamental-research.ru/article/view?id=36044>
10. <https://habr.com/ru/post/371855/>
11. [http://www.steps.ru/article/3d\\_printer\\_stroit\\_dom](http://www.steps.ru/article/3d_printer_stroit_dom)
12. Yoo Doo-Yoel, Min Kyung- Hwan, Lee Joo- Ha, Yoon Young- Soo. Autogtnoua shrinkage of concrete with design strength 60-120 N/mm<sup>2</sup> //Mag. Concr. Res., v.63, N10,2011

**References**

1. Balagozov A.M. Technology of construction of buildings and facilities from monolithic and precast-monolithic reinforced concrete. Baku: Çashioğlu, 2011
2. Demidenko A.K., Kulibaba A.V., Ivanov M.F. Prospects for the use of 3D printing in the construction industry of the Russian Federation // Construction of unique buildings and structures, N12. 63, 71-96p, 2017
3. Lesovik V.S., Chernyshova N.V., Glagolev E.S. and others. 3D-additive technologies in the field of construction. Intelligent building composites for green building. Moscow, 2016
4. [https://www.zaggo.ru/article/stroitelstvo/obshee/doma\\_napechatannye\\_na\\_3d\\_printere\\_kak\\_ih\\_s\\_troyat\\_i\\_pochemu\\_im\\_prorochat\\_bol\\_shoe\\_budushee\\_7\\_real\\_nyh.html](https://www.zaggo.ru/article/stroitelstvo/obshee/doma_napechatannye_na_3d_printere_kak_ih_s_troyat_i_pochemu_im_prorochat_bol_shoe_budushee_7_real_nyh.html)
5. [https://www.gazeta.ru/tech/2021/03/15/13511930/mighty\\_buildings.shtml](https://www.gazeta.ru/tech/2021/03/15/13511930/mighty_buildings.shtml)
6. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschie-technologicheskikh-resheniy-3d-pechati-v-stroitelstve>
7. <https://top3dshop.ru/>
8. <https://epo3d.com/ru/>
9. <https://fundamental-research.ru/article/view?id=36044>
10. <https://habr.com/en/post/371855/>
11. [http://www.steps.ru/article/3d\\_printer\\_stroit\\_dom](http://www.steps.ru/article/3d_printer_stroit_dom)
12. Yoo Doo-Yoel, Min Kyung- Hwan, Lee Joo- Ha, Yoon Young- Soo. Autogtnoua shrinkage of concrete with design strength 60-120 N/mm<sup>2</sup> //Mag. Concr. Res., v.63, N10,2011

Redaksiyaya daxil olma/Received 19.09.2022

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 19.10.2022

*Məqaləyə istinad: Balagəzov A.M., Bayramov P.Г Перспективы применения технологии и организации возведения зданий решением аддитивных технологий в строительном комплексе. Elmi Əsərlər jurnalı AzMIU, s. 103-108, N2, 2022*

*For citation: Balagozov A.M., Bayramov R.G Prospects for the application of technology and organization of construction of buildings with the solution of additive technologies in the construction complex. Journal of Scientific works/ Elmi eserler. AzUAC, p. 103-108, N2, 2022*