

**МРНТИ 67.03.05:67.23.15**

А.К.Байдабеков<sup>1</sup>, К.М. Бегімбай<sup>2</sup>, Д.А.Тусупбаева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,  
Нур-Султан, Казахстан  
(E-mail: <sup>3</sup>[yereshova.d@mail.ru](mailto:yereshova.d@mail.ru))

**Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития**

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются различные технологии, применяемые в 3D-печати, их преимущества и недостатки, а также области применения и перспективы развития в строительной области. Дано краткое описание устройства и принципа работы 3D-принтера. Рассмотрены основные виды материалов и их комбинации, а также виды армирования конструкций, используемые при 3D-печати зданий и сооружений. Описаны разработки зарубежных компаний, в строительстве домов с помощью 3D-печати. Выявлены основные проблемы практического применения 3D-печати. Рассмотрены направления развития и совершенствования данной технологии.

**Ключевые слова:** технологии 3D-печати; печать объектов на 3D-принтере; цифровые 3D-модели; современные инновационные строительные технологии; основные методы 3D-печати; метод спекания; метод лазерной стереолитографии; метод компонентной склейки и т.д..

DOI: <https://doi.org/10.32523/2220-685X-2019-55-4-22-38>

Современные инновационные 3D-технологии развиваются достаточно быстро и все больше внедряются в различные сферы деятельности человека. В последнее время значительное внимание уделяется такой разновидности 3D-технологий, как печать объектов на 3D-принтере, в которой используется метод по-слойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели.

3D-принтеры применяются во многих отраслях промышленности: медицине, машиностроении, литейном производстве, радиотехнике и электронике. Их основными преимуществами являются создание объектов с высокой точностью и скоростью без использования ручного труда, а также возможность создания предметов и конструкций по 3D-модели. Строительная область не стала исключением в отношении применения 3D-печати. В

настоящее время существуют технологии и устройства для печати как малых архитектурных форм, так и зданий в целом.

В данной статье рассматриваются различные технологии, применяемые в 3D-печати, их преимущества и недостатки, а также области применения и перспективы развития в строительной области. Дано краткое описание устройства и принципа работы 3D-принтера. Рассмотрены основные виды материалов и их комбинации, а также виды армирования конструкций, используемые при 3D-печати зданий и сооружений. Описаны разработки зарубежных компаний, в строительстве домов с помощью 3D-печати. Выявлены основные проблемы практического применения 3D-печати. Рассмотрены направления развития и совершенствования данной технологии.

На сегодняшний день строительные технологии непрерывно развиваются. В основном преобразования направлены на сокращение сроков строительства, увеличение периода эксплуатации конструкций, экономию трудовых затрат и рабочей силы, а также извлечение большей экономической выгоды. Немало внимания отводится обеспечению сохранности окружающей среды и повышению безопасности жизнедеятельности на самом производстве.

Новой в сфере строительства является технология 3D-печати. С ее помощью появилась возможность не только создания различных архитектурных конструкций, но и возведения целых зданий и сооружений.

3D-печать относится к аддитивному производству, иными словами, технология подразумевает создание объектов путем нанесения последовательных слоев материала [1]. Модели, изготовленные таким образом, могут применяться на любом производственном этапе – как для изготовления опытных образцов с применением метода быстрого прототипирования, так и в качестве готовых изделий, иначе говоря быстрого производства.

Существуют три основных метода 3D-печати [2], используемых при строительстве (схема 1).



Схема 1: Основные методы 3D-печати, используемые при строительстве

Метод спекания, иначе называемой селективного спекания, заключается в следующем: 3D-принтер расплавляет рабочую смесь, материалом которого является обычный песок, с помощью сконцентрированного лазера или солнечного луча. На рисунке 1 показано устройство, которого изобрел М.Кайзер будущий инженер и студент RoyalCollegeofArt. Установка оснащена солнечным резаком, оборудованный кулачковым механизмом, при помощи которого задаются траектории резания материала—горизонтальные и круговые разрезы.



Рисунок1: Установка для реализации метода спекания

Механизм перемещения обрабатываемого материала приводится в движение небольшим двигателем, запускающим движение зубчатого ремня привода распределительного вала. Одновременно сфокусированная шаровая линза насквозь прожигает материал, находящийся под ней.

В работе ученых Малышевой В.Л., Красимировой С.С. «Лазерная стереолитография – новый подход к строительству сооружений» [3] описан другой метод 3D-печати зданий и сооружений – лазерная стереолитография. Для ее реализации используется лазерная установка с ванной, оборудованной специальным столом. Эту ванну заполняют жидкой фотополимеризующейся под воздействием лазерного луча композицией.

Путем перемещения лазерного луча по намеченной траектории послойно производится спекание материала. При завершении обработки первого слоя стол ванны опускается на шаг, и выполняется формирование следующего слоя.

На рисунке 2 сегодняшней день известны рабочие образцы группы П.Новикова Каталонского института передовой архитектуры (IAAC), полученные методом так называемой «компонентной склейки», под названием Stone Spray Robot, а также система D-Shape, разработанная Э.Дини для строительства зданий (Monolite UK).



Рисунок 2: Рабочие образцы, полученные способом компонентной склейки

Методы селективного спекания и напыления являются экологически безвредными, поскольку их реализация подразумевает использование солнечной энергии, а рабочей смесью является песок. Метод послойного экструдирования является основным способом 3D-печати большинства строительных принтеров. Его суть заключается в том, что рабочее сопло, или экструдер, 3D-машины выдавливает быстротвердеющую бетонную смесь, в которую включены различные добавки, улучшающие характеристики будущей конструкции [4].

Как показано на рисунке 3, каждый очередной слой выдавливается 3D-принтером поверх предыдущего, благодаря чему формируется определенная конструкция. В 2012 году впервые о подобной технологии в строительстве было упомянуто в работах Б.Хошневиса, профессора Южно-Калифорнийского

университета. Его научная группа выдвинула идею конструкции гигантского, собираемого на месте стройки 3D-принтера по типу мостового крана. Данный метод стал основой для 3D-принтеров китайской компании WinSun, которая в начале 2014 года первой напечатала серию настоящих домов [5].

Уникальность постройки заключается в использовании запатентованного материала, представляющего собой смесь строительного мусора, бетона и добавок. Такие дома относятся к классу недорогого быстровозводимого жилья.

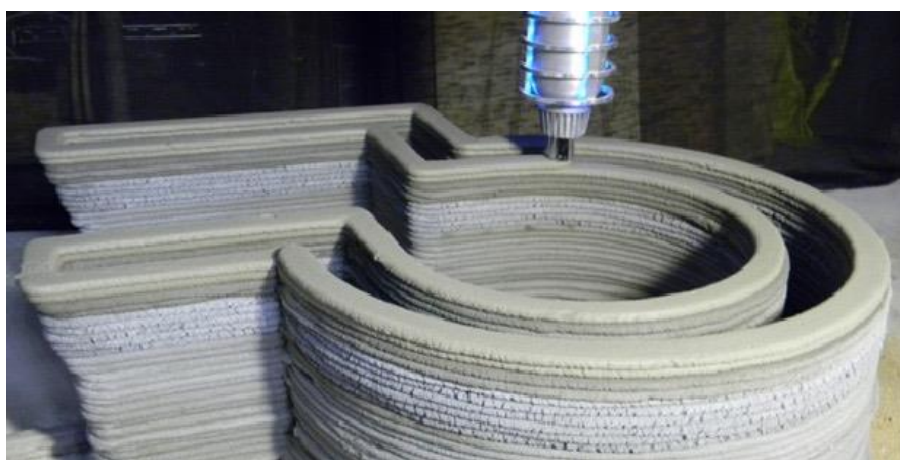


Рисунок3:Пример изготовления конструкции сооружения методом послойного экструдирования

В настоящее время известно о существовании двух видов конструкций 3D-принтеров – в виде мостового крана и в виде стрелы-манипулятора [6].

Строительный 3D-принтер имеет сопло, или экструдер, и выдавливает из него рабочую смесь. Поверхность, на которой создается объемное изделие, называется рабочей зоной и имеет размеры, задаваемые величиной хода сопла, причем опалубки не требуется.

Другими словами, строительная машина объемной печати – самодостаточный механизм, который способен создать готовое здание, используя электроэнергию. Основными составляющими 3D-машины являются рама, на которой смонтировано устройство, перемещающееся линейно в плане по направляющим, установленным вдоль здания, а также устройства для передвижения сопла и поднятия конструкции принтера. Таким образом,



движение осуществляется в трех взаимно перпендикулярных направлениях – по осями  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Сама система для печати с помощью 3D-принтера (рис. 4) содержит следующие элементы:

- систему движения (козловые краны или роботизированный манипулятор);
- систему экструзии (печатающая головка с насадкой);
- портативную смесительную установку (просеивание и смешивание компонентов);
- систему накачки (контролируется электроникой);
- блок управления (электроника, позиционирование и система управления);
- систему мониторинга (камеры/мониторы слежения за процессом печати);
- систему безопасности (автоматически выключает систему при необходимости).

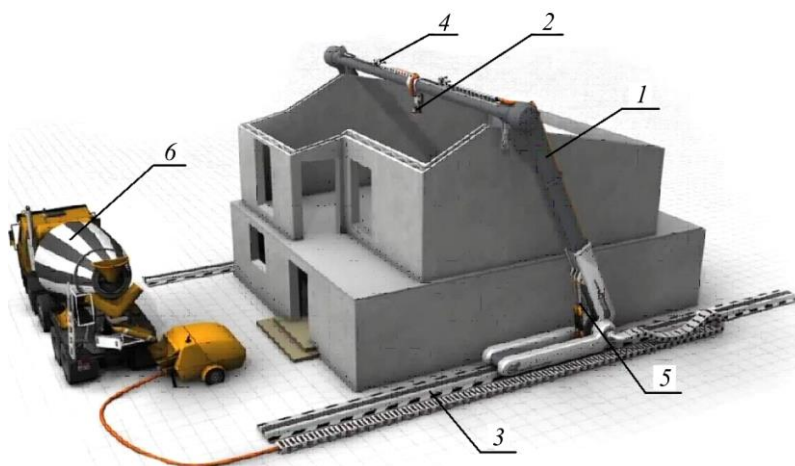


Рисунок 4: Система для печати зданий с помощью 3D-принтера: 1 – сопло (экструдер); 2 – рама; 3 – направляющие вдоль здания; 4 – механизм передвижения сопла; 5 – устройство для поднятия конструкции принтера; 6 – автобетоносмеситель для подачи цементного состава

Немаловажную роль в технологии строительной 3D-печати играет состав рабочей смеси. Ее основой является быстротвердеющий бетон, который может включать в свой состав различные добавки для повышения тех или иных характеристик несущих элементов конструкции (стен, перекрытий) [7], а также может комбинироваться либо с различными видами фибр, либо со стальной арматурой (схема 2).



Схема 2: Материалы, используемые при послойном экструдировании

Бетонная смесь представляет собой высокопрочный бетон класса *B50*, необходимый для создания «органической структуры стен», прочность которого достигает  $650-700$  кгс/см<sup>2</sup>. В первые сутки конструкция на основе бетонной смеси обретает до 25 % проектной прочности, но такие высокие темпы набора прочности не оказывают негативного влияния на конечные свойства бетона.

Схватывание смеси происходит в течение 3-120 мин, при этом достаточно хорошо сохраняется форма, что необходимо при 3D-печати. Для бетонной смеси характерны малая усадка (0,6 мм/м в возрасте 28 суток) и минимальное водоцементное отношение.

Быстротвердеющие составы, в основу которых входит бетонная смесь, предполагают:

- применение жесткой бетонной смеси с низкими значениями водоцементного отношения;
- использование добавок – ускорителей твердения (CaCl<sub>2</sub>), глиноземистого цемента и др.;
- сухое или мокрое домалывание цемента с добавкой гипса (2-5 % от массы цемента) или с применением комплексных специальных добавок;
- активацию цементного раствора.

Из добавок – ускорителей твердения наиболее распространены хлористый кальций, обеспечивающий лучшие результаты по сравнению с другими добавками. В бетонных конструкциях количество такой добавки не должно превышать 3 %. Основные достоинства данного материала:

- малое время сохранения подвижности смеси позволяет печатать элементы большой высоты без промежуточного подсушивания;

- небольшая прочность: на сжатие в возрасте 28 сут – 1,6 МПа, на растяжение при изгибе – 1 МПа;

- хлористый кальций позволяет ускорить твердение бетона в раннем возрасте, несколько снизить расход цемента и улучшить удобоукладываемость смеси;

- готовый материал обеспечивает быстрое нарастание прочности, обладает высокой водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Одной из добавок к бетонной смеси для печати на 3D-принтере также является фибра, которая представляет собой материал, применяемый в качестве армирующего компонента для улучшения свойств бетона [9].

Она добавляется в сухие строительные смеси и растворы, выполняя роль микроармирующего компонента, модифицирующего (оптимизирующего) структуру вяжущих веществ строительных конгломератов на микроуровне, поэтому позволяет обойтись без армирования бетона стальной арматурой, так как в достаточной мере обеспечивает прочность и жесткость конструкции, вследствие чего уменьшаются ее вес, а также затраты на армирование (таблица 1).

Кроме того, известно использование быстротвердеющей бетонной смеси в качестве строительного материала, армированного стальной или полимерной микрофиброй. Для увеличения несущей способности и прочности стены могут также применяться различные виды армирования при помощи стальной арматуры.

Армирование при помощи металлической (стальной) арматуры может производиться как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.



**Таблица 1: Виды фибры, используемые в комбинации с бетонной смесью при 3D-печати зданий и сооружений**

| Вид фибры        | Общие свойства  | Преимущества  |
|------------------|---|---|
| Стекланная       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Увеличивается прочность при сжатии (растяжении) и на изгиб;</li> <li>– повышается термическая устойчивость;</li> <li>– сокращаются сроки возведения сооружений;</li> <li>– снижается расход материалов;</li> <li>– увеличивается степень сопротивления трещинообразованию</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышает ударопрочность;</li> <li>– достигаются высокая плотность и равномерность армирования</li> </ul>   |
| Полипропиленовая |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышает пластичность цементного раствора;</li> <li>– уменьшает удельный вес смеси;</li> <li>– повышает износостойкость бетонных конструкций;</li> <li>– повышаются водонепроницаемость и морозостойкость</li> </ul> |
| Базальтовая      |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Обладает электроизоляционными свойствами;</li> <li>– не поддерживает горение;</li> <li>– экологичность</li> </ul>  |
| Стальная         |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Снижает толщину бетонирования и массу без потери несущей способности;</li> <li>– повышает устойчивость к динамическим нагрузкам;</li> <li>– улучшает гидроизоляционные характеристики сооружений</li> </ul>          |

Вертикальная арматура устанавливается в технологические пустоты стен после печати с последующей заливкой бетоном нужной марки. Горизонтальное армирование проводится между слоями конструкции в процессе печати с использованием стальных прутков или плоских армокаркасов. Данный вид армирования достаточно прост в применении, однако имеет существенный недостаток: применение ручного труда может вызвать неточности установки, а также требует дополнительного времени на устройство арматуры.

Конструкция стены, выполненная с помощью 3D-принтера, представляет собой пространственную ферму с параллельными поясами, т.е. внутренняя и наружная части стены связаны между собой пространственной конструкцией в виде треугольников (простейших геометрически не изменяемых систем), что обеспечивает достаточную жесткость конструкции (рис. 5).

В настоящее время развитие различных технологий строительной 3D-печати, в основе которых лежит метод послойного экструдирования, происходит в основном за рубежом.

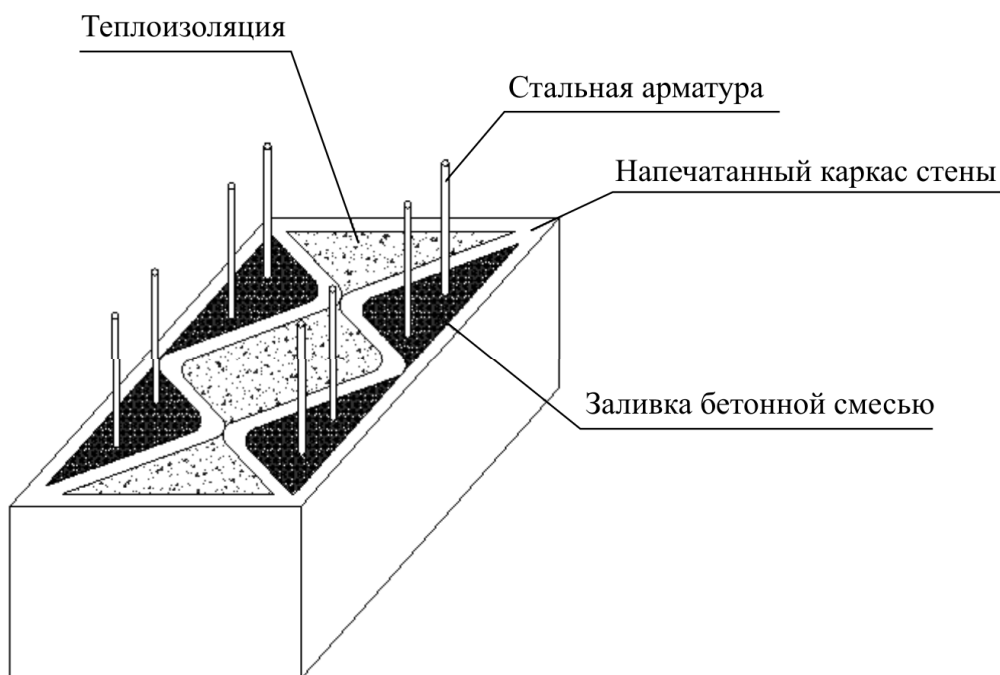


Рисунок5: Пример использования армирования бетонной смеси при 3D-печати

В 2012 г. профессор Университета Южной Калифорнии Б.Кошевис представил свой инновационный проект 3D-принтера для строительства домов, наряду с технологией Contour Crafting [10]. Технология «контурного» строительства (Contour Crafting) заключается в экструзии (выдавливании) слой за слоем специального быстротвердеющего реакционно-порошкового бетона по заложенному программой контуру. А также могут использоваться более дешевые виды бетонов, такие как мелкозернистый и песчаный бетон, модифицированный добавками, такими как гиперпластификаторы, ускорители твердения и фибра.

Особенность технологии заключается в подключении дополнительного инструмента машины–манипулятора, устанавливающего в проектное положение несущие и поддерживающие элементы конструкции, инженерные коммуникации (перемычки, балки перекрытия-покрытия, элементы стропильной конструкции, лотки, дымоходы, вентиляционные каналы и т.д.). Преимущество технологии заключается в скорости строительства. Машина может построить за 24 ч жилой дом площадью 150 м<sup>2</sup>. Недостатками являются сложность, а в некоторых случаях и невозможность строительства зданий с открытой планировкой и сложных архитектурных форм из-за необходимости создания поддерживающих конструкций.

Исследователи из Института передовой архитектуры Каталонии (Испания) разработали группу из трех роботических 3D-принтеров, которые благодаря своей мобильности способны печатать объекты неограниченного размера [11].

Все три принтера Minibuilders, работают в команде, но каждый из них предназначен для выполнения отдельной конструкторской задачи. На первой стадии FoundationRobot закладывает основу будущего объекта, «выращивая» первые 20 слоев. Затем на вершинеструктуры помещается GripRobot, который движется вдоль объекта на своих четырех колесах, нанося новые слои. Vacuum Robot присасывается к любой поверхности на уже существующей конструкции, выравнивая ее и нанося дополнительные слои материала, двигаясь в любом направлении. Все три робота могут работать одновременно, управляются дистанционно, через мобильный командный пункт, а также умеют самостоятельно регулировать подачу материала и переключать насадки.

Компания WASP (Италия) продемонстрировала свой большой 3D-принтер, способный производить дешевое жилье из глины. Глина в новом принтере выдавливается подобно глазури и затем застывает. Высота устройства составляет около 6 м, притом оно способно производить печатные структуры до 3 м в высоту. Принтер может быть установлен двумя людьми всего за два часа.

Наиболее передовой на сегодняшний день в сфере печати быстровозводимых зданий можно считать систему D-Shape, разработанную Энрико Дини [12].

Этот новый механизм делает возможным создание полноразмерного здания из песчаника без человеческого вмешательства с использованием стереолитографического печатного процесса, для которого требуются только песок и специальное неорганическое связующее вещество.

Эта составляющая трансформирует песок в минерал с микрокристаллическими характеристиками, работающий на сжатие и растяжение значительно лучше портландцемента, что делает излишним использование арматуры для усиления конструкций. Такой материал не отличим от искусственного мрамора и на 100 % безопасен для окружающей среды. Отмечается, что система D-Shape позволяет ускорить процесс строительства до четырех раз по сравнению с традиционными методами. В 2009 г. с ее помощью уже было возведено здание высотой 3 м.

Приведенные выше примеры различных зарубежных технологий 3D-печати в строительстве говорят о заинтересованности ученых всех стран в развитии данного метода строительства. Технология 3D-печати зданий и сооружений, несомненно, является инновационной и весьма перспективной, однако при ее применении приходится сталкиваться с рядом проблем:

1. Отсутствие нормативной и законодательной базы для строительства зданий с помощью 3D-принтера ограничивает его применение для массовой застройки, поэтому крупные строительные компании не приобретают строительные принтеры [13]. На сегодняшний день данные устройства применяются в основном для малоэтажного и малогабаритного индивидуального строительства, а также для изготовления малых архитектурных форм.

2. Высокая стоимость оборудования для 3D-печати. По-настоящему инновационные технологии первоначально имеют достаточно высокую цену; через длительный промежуток времени, если технология доказывает свою практичность, она получает дальнейшее распространение и становится общедоступной с более приемлемой стоимостью [14].

3. Технология строительства с применением 3D-принтера требует особых характеристик строительной площадки (в частности, для укладки направляющих рельсов необходимы ровная

площадка, а также непрерывный контроль за соблюдением их параллельности для обеспечения высокой точности печати).

4. Поскольку размеры принтера ограничены, ограничены и габариты строящегося здания.

5. Отсутствует универсальная смесь для печати по причине того, что разные производители применяют различные бетонные смеси, экспериментируя с составом компонентов и их соотношением.

6. Требования к составу бетонной смеси достаточно высокие, так как конструкция стены должна соответствовать условиям прочности и жесткости. Возникает противоречие: с одной стороны, для того, чтобы рабочая смесь не застывалась и не застывала в печатающей головке, применяют добавку-пластификатор, которая увеличивает сроки твердения, с другой стороны, необходимо обеспечить быстрое схватывание и твердение смеси для непрерывного нанесения последующих слоев.

7. Строительство с помощью данной технологии ограничивается теплым временем года, что затрудняет возведение зданий в северных областях. Для строительства в зимний период сооружают большие отапливаемые временные шатры.

Несмотря на такое количество проблем, существующих на сегодняшний день, использование 3D-технологий в строительной сфере имеет ряд достоинств, основными из которых являются:

- высокая скорость и точность строительства;
- простота эксплуатации;
- относительно невысокая стоимость зданий и сооружений;
- минимизация использования ручного труда;
- повышение безопасности труда рабочих.

Прогресс в строительной сфере не стоит на месте, постоянно внедряются все более высокотехнологичные методики, к числу которых можно отнести 3D-печать зданий и сооружений [15].

За короткий промежуток времени данная технология заинтересовала большое количество крупных строительных предприятий.

Однако следует отметить, что перспектива развития 3D-печати в строительстве, а также ее внедрение в массовое производство возможны только при решении ряда существующих проблем, указанных в данной статье. Нынче специалистов

архитектурного дизайна вышеназванная технология интересует с точки зрения изучения перспективы развития новых методов, которые будут применяться при проектировании объектов архитектурной среды.

### Использованная литература

1. Ракитин С.Ю., Илькубаев А.А. Формирование послойных контуров 3D-моделей для аддитивного производства // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. Оренбург, 2016. – С. 223–230.
2. Обзорная статья по 3D-строительным технологиям [Электронный ресурс]. – URL: <http://geektimes.ru/post/224299> (дата обращения: 14.12.2016).
3. Малышева В.Л., Красимирова С.С. Лазерная стереолитография – новый подход к строительству сооружений // Журнал магистров. – 2013. – № 2. – С. 202–208.
4. Рудяк К.А., Чернышев Ю.О. Возведение зданий методом послойного экструдирования // Современные концепции развития науки: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2016. – С. 147–151.
5. Компания Winsun. 3D-проектирование домов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.yhbm.com/index.php?a=lists&c=index&catid=67&m=content> (дата обращения: 14.12.2016).
6. Мустафин Н.Ш., Барышников А.А. Новейшие технологии в строительстве. 3D-принтер [Электронный ресурс] // Региональное развитие. – 2015. – № 8 (12). – URL: <https://regrazvitie.ru/novejshie-tehnologii-v-stroitelstve-3d-printer> (дата обращения: 14.12.2016).
7. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete / S.A. Austin, S. Lim, R.A. Buswell, A.G.F. Gibb, T. Thorpe // Materials and Structures. – 2012. – № 8 (45). – P. 1221–1232.
8. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Воронцов Р.В. Материалы, доступные в рамках различных технологий 3D-печати // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 5. – С. 20–25.
9. Wang Yo., Wu H.C., Li V.C. Concrete reinforcement with recycled fibers // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2000. – № 4 (12). – P. 314–319.
10. Brooks H., Lupeanu M.E., Piorkowski B. Research towards high speed extrusion freeforming // International Journal of Rapid Manufacturing. – 2013. – Vol. 3, № 2-3. – P. 154–171.
11. Печать домов на 3D-принтере [Электронный ресурс]. – URL: <http://make-3d.ru/articles/3d-printer-dlya-pechati-domov> (дата обращения: 14.12.2016).
12. Зотов С.П., Мензулов Л.А., Варганов О.С. Технология 3D-печати зданий и отдельных архитектурных форм [Электронный ресурс]. – URL: <http://evo7day.ru/post.php> (дата обращения: 10.12.2016).



13. Первый опыт печати зданий на 3D-принтере [Электронный ресурс]. – URL: [http:// 3dtoday.ru/blogs/specavia/first-experience-printing-on-building-a-3d-printer](http://3dtoday.ru/blogs/specavia/first-experience-printing-on-building-a-3d-printer) (дата обращения: 10.12.2016).
14. Петренева О.В., Пикулева В.О., Юшманов А.В. Проблемы внедрения инновационных технологий и материалов в строительстве // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. – 2015. – № 5-2.
15. Кулебякин А.А. Новые технологии. Развитие 3D-печати: перспективы и последствия // Молодеж. науч.-техн. вестник. – 2015. – № 3. – С. 48.

А.К.Байдабеков<sup>1</sup>, К.М. Бегімбай<sup>2</sup>, Д.А.Тусупбаева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

### **3D басып шығаруды құрылыста қолдану және оның даму перспективалары**

**Аннотация:** Бұл мақалада 3D басып шығаруда қолданылатын әртүрлі технологиялар, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, сонымен қатар құрылыс саласындағы қолданбалар мен даму перспективалары қарастырылады. Құрылыстың қысқаша сипаттамасы және 3D принтердің жұмыс принципі келтірілген. Материалдардың негізгі түрлері және олардың комбинациясы, сондай-ақ ғимараттар мен құрылыстарды 3D басып шығаруда қолданылатын конструкцияларды арматуралау түрлері қарастырылады. 3D басып шығаруды қолдана отырып, үйлер салуда шетелдік компаниялардың дамуы сипатталған. 3D басып шығаруды практикалық қолданудың негізгі проблемалары анықталды. Осы технологияны дамыту және жетілдіру бағыттары қарастырылған.

**Кілт сөздер:** 3D басып шығару технологиясы; нысандарды 3D принтерде басып шығару; 3D сандық модельдері; қазіргі заманғы инновациялық құрылыс технологиялары; 3D басып шығарудың негізгі әдістері; құю әдісі; лазерлік стереолитография әдісі; компонентті желімдеу әдісі және т.б.

А.К.Байдәбеков<sup>1</sup>, К.М. Бегімбай<sup>2</sup>, Д.А.Тусупбаева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

### **The use of 3D printing in construction and the prospects for its development**

**Abstract:** This article discusses the various technologies used in 3D printing, their advantages and disadvantages, as well as applications and development prospects in the construction field. A brief description of the device

and the principle of operation of the 3D printer is given. The main types of materials and their combinations, as well as the types of reinforcement of structures used in 3D printing of buildings and structures are considered. The development of foreign companies in the construction of houses using 3D printing is described. The main problems of the practical application of 3D printing are identified. The directions of development and improvement of this technology are considered.

**Key words:** 3D printing technology; printing objects on a 3D printer; 3D digital models; modern innovative construction technologies; basic methods of 3D printing; sintering method; laser stereolithography method; component gluing method, etc.

### References

1. Rakitin S.YU., Il'kubayev A.A. Formirovaniye posloynnykh konturov 3D-modelei dlya additivnogo proizvodstva [The formation of layer-by-layer contours of 3D-models for additive production] Universitetskiy kompleks kak regional'nyy tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury: materialy Vseros. nauch.-metod. konf.[University Complex as a Regional Center for Education, Science and Culture: Materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference] (Orenburg, 2016). [in Russian]
2. Obzornaya stat'ya po 3D-stroitel'nym tekhnologiyam [3D Building Technology Survey] Available at: <http://geektimes.ru/post/224299> [in Russian]. (accessed 14.12.2016)
3. Malysheva V.L., Krasimirova S.S. Lazernaya stereolitografiya – novyy podkhod k stroitel'stvu sooruzhenii [Laser stereolithography - a new approach to the construction of structures] Zhurnal magistrrov [Magazine Magazine], № 2, 202–208(2013). [in Russian]
4. Rudyak K.A., Chernyshev YU.O. Vozvedeniye zdaniï metodom posloynogo ekstrudirovaniya [The construction of buildings by the method of layer-by-layer extrusion] Sovremennyye kontseptsii razvitiya nauki: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.[Modern concepts of the development of science: materials of the Intern. scientific-practical conf.] (Kazan,2016).[in Russian]
5. Kompaniya Winsun. 3D-proyektirovaniye domov [Winsun Company. 3D house design] Available at: <http://www.yhbm.com/index.php?a=lists&c=index&catid=67&m=content>[in Russian]. (accessed 14.12.2016)
6. Mustafin N.SH., Baryshnikov A.A. Noveyshiye tekhnologii v stroitel'stve. 3D-printer [The latest technology in construction. 3D printer] Regional'noye razvitiye [Regional development], № 8 (12) (2015) Available at: <https://regrazvitie.ru/novejshie-tehnologii-v-stroitelstve-3d-printer>[in Russian]. (accessed 14.12.2016)
7. Austin S.A., Lim S., Buswell R.A. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. Materials and Structures. № 8 (45), 1221–1232 (2012). [in English]

8. Lysych M.N., Shabanov M.L., Vorontsov R.V. Materialy, dostupnyye v ramkakh razlichnykh tekhnologii 3D-pechati [Materials available through various 3D printing technologies] *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii* [Modern high technology], № 5, 20–25(2015). [in Russian]
9. Wang Yo., Wu H.C., Li V.C. Concrete reinforcement with recycled fibers // *Journal of Materials in Civil Engineering*, № 4 (12), 314–319 (2000). [in English]
10. Brooks H., Lupeanu M.E., Piorkowski B. Research towards high speed extrusion freeforming // *International Journal of Rapid Manufacturing*, Vol. 3, № 2-3, 154–171 (2013). [in English]
11. Pechat' domov na 3D-printere [Printing houses on a 3D printer] Available at: <http://make-3d.ru/articles/3d-printer-dlya-pechati-domov>, №10, 29-31 (2011). [in Russian]. (accessed 14.12.2016)
12. Zotov S.P., Menzulov L.A., Vartanov O.S. Tekhnologiya 3D-pechati zdaniï i ot del'nykh arkhitekturnykh form [3D printing technology for buildings and individual architectural forms ] Available at: <http://evo7day.ru/post.php>. [in Russian]. (accessed 10.12.2016)
13. Pervyy opyt pečhati zdaniï na 3D-printere [The first experience of printing buildings on a 3D printer] Available at: <http://3dtoday.ru/blogs/specavia/first-experience-printing-on-building-a-3d-printer>. [in Russian]. (accessed 10.12.2016)
14. Petreneva O.V., Pikuleva V.O., Yushmanov A.V. Problemy vnedreniya innovatsionnykh tekhnologii i materialov v stroitel'stve [Problems of introducing innovative technologies and materials in construction] *Stroitel'stvo i arkhitektura. Opyt i sovremennyye tekhnologii* [Construction and architecture. Experience and modern technology], № 5-2, (2015). [in Russian]
15. Kulebyakin A.A. Novyye tekhnologii. Razvitiye 3D-pechati: perspektivy i posledstviya [New technologies. The development of 3D printing: prospects and consequences] *Molodezh. nauch.-tekhn. vestnik* [Youth. scientific and technical messenger], № 3, 48 (2015). [in Russian]