Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 90–101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08

Luneva D.A., Kozhevnikova E.O., Kaloshina S.V. Application and prospects of 3D printing in construction activities. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. 2017. Vol. 8, no. 1. Pp. 90-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 8, № 1, 2017
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08

УДК 624.05

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Д.А. Лунева, Е.О. Кожевникова, С.В. Калошина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 15 декабря 2016
Принята: 30 декабря 2016
Опубликована: 30 марта 2017

Ключевые слова:

3D-печать, 3D-принтер, аддитивное производство, селективное спекание, компонентная склейка, метод послойного экструдирования, бетонная смесь, фибра, армирование, «контурное» строительство, система D-Shape

АННОТАЦИЯ

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 послойного 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.

© ПНИПУ

© Кожевникова Елизавета Олеговна – студентка, e-mail: kozhevnikova0811@yandex.ru.

Лунева Дарья Александровна – студентка, e-mail: d.luneva2016@yandex.ru.

Калошина Светлана Валентиновна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: kaloshina82@mail.ru.

Elizaveta O. Kozhevnikova – Student, e-mail: kozhevnikova0811@yandex.ru.

Dar'ia A. Luneva – Student, e-mail: d.luneva2016@yandex.ru.

Svetlana V. Kaloshina – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: kaloshina82@mail.ru.

APPLICATION OF 3D PRINTING IN CONSTRUCTION ACTIVITIES AND ITS PROSPECTS

D.A. Luneva, E.O. Kozhevnikova, S.V. Kaloshina

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 15 December 2016
Accepted: 30 December 2016
Published: 30 March 2017

Keywords:

3D-printing, 3D-printer, additive manufacturing, selective sintering, bonding component, the method of layering extrusion, concrete mix, fiber, reinforcement, "contour" crafting, D-Shape system

ABSTRACT

Modern innovative 3D-technologies are developing and improving extremely fast, they are used in various spheres of human life. Recently much attention is paid to printing objects using a 3D-printer, which entails a layerwise creation of physical objects according to a digital 3D-model. This device is used in many industries, in medicine, machine engineering, casting, radio engineering and electronics. The main advantages of 3D-printers are that they are able to create objects with a high accuracy and speed without manual labor, as well as the ability to create objects and structures according to a 3D-model. Civil engineering is also widely using the 3D-printing technology. Now there are technologies and devices for printing both small architectural forms and buildings.

The article considers various technologies of 3D-printing, their advantages and disadvantages, as well as their applications and prospects in construction activities. There is a brief description of the device and its operating principles of 3D-printers. The main types of materials and their combinations are examined and compared, as well as main types of structural reinforcements used in 3D-printing of buildings and structures. The article contains data about international companies implementing this technology for construction of houses using different materials. The main problems of applying and implementing 3D-printing technologies are identified and discussed; some tendencies and developments of this technology are also described.

© PNRPU

На сегодняшний день строительные технологии непрерывно развиваются. В основном преобразования направлены на сокращение сроков строительства, увеличение периода эксплуатации конструкций, экономии 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 (быстрое прототипирование), так и в качестве готовых изделий (быстрое производство).

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

Метод спекания (селективного спекания) заключается в следующем: 3D-принтер расплавляет рабочую смесь (обыкновенный песок) с помощью сконцентрированного лазера или солнечного луча. На данный момент известно о существовании только одного образца такого устройства. Его изобрел инженер Маркус Кайзер – студент Королевского колледжа искусств (Royal College of Art). Установка включает в себя солнечный резак, оборудованный кулачковым механизмом, при помощи которого задаются траектории резания материала, горизонтальные и круговые разрезы (рис. 2). Механизм перемещения обрабатываемого материала приводится в движение небольшим двига-

телем, запускающим движение зубчатого ремня привода распределительного вала. Одновременно сфокусированная шаровая линза насквозь прожигает материал, находящийся под ней.

Рис. 1. Основные методы 3D-печати, используемые при строительстве
Fig. 1. Main methods of 3D-printing used in the construction process

Рис. 2. Установка для реализации метода спекания
Fig. 2. An example of equipment used using the sintering method

В работе [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. Спекание материала выполняется послойно, путем перемещения лазерного луча по намеченной траектории. При завершении обработки первого слоя стол ванны опускается на шаг, и выполняется формирование следующего слоя.

На сегодняшний день известны рабочие образцы группы Каталонского института передовой архитектуры (IAAC) (группа Петра Новикова), полученные методом компонентной склейки, под названием Stone Spray Robot (рис. 3), а также система D-Shape, разработанная Энрико Дини для строительства зданий (Monolite UK).

Методы селективного спекания и напыления являются экологически безвредными, поскольку их реализация подразумевает использование солнечной энергии, а рабочей смесью является песок.

Рис. 3. Рабочие образцы, полученные способом компонентной склейки
Fig. 3. Sample of the component bonding method

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]. Каждый очередной слой выдавливается 3D-принтером поверх предыдущего, благодаря чему формируется определенная конструкция (рис. 4). Впервые о подобной технологии в строительстве было упомянуто в работах профессора Бехроха Хошневиса из Южно-Калифорнийского университета в августе 2012 г. Его научная группа выдвинула идею конструкции гигантского, собираемого на месте стройки 3D-принтера по типу мостового крана.

Рис. 4. Изготовление конструкции сооружения методом послойного экструдирования
Fig. 4. Production of structural facilities using layering extrusion

Данный метод стал основой для 3D-принтеров китайской компании WinSun, которая первой напечатала серию настоящих домов в начале 2014 г. [5]. Уникальность постройки заключается в использовании запатентованного материала, представляющего собой смесь строительного мусора, бетона и добавок. Такие дома относятся к классу недорогого быстровозводимого жилья.

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, строи-

тельная 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 осям x , y , z .

Сама система для печати с помощью 3D-принтера (рис. 5) 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).

Рис. 5. 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

Fig. 5. The system for printing houses with the help of a 3D-printer, 1 – is the nozzle (extruder); 2 – is the frame; 3 – are the rails along the building; 4 – is the nozzle movement mechanism; 5 – is a device for lifting the printer design; 6 – is the mixer truck for supplying cement mixture

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 (рис. 6).

Бетонная смесь представляет собой высокопрочный бетон класса В50, необходимый для создания «органической структуры стен», прочность которого достигает 650–700 кгс/см². 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 сут) и минимальное водоцементное отношение.

Рис. 6. Материалы, используемые при послойном экструдировании

Fig. 6. Materials used for the layering extrusion

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

- применение жесткой бетонной смеси с низкими значениями водоцементного отношения;
- использование добавок – ускорителей твердения (CaC_{12}), 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 распространен 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).

Виды фибр, используемые в комбинации с бетонной смесью
при 3D-печати зданий и сооружений

Types of fibers used in a combination with a concrete mix by 3D-printing of buildings

Вид фибры	Общие свойства	Преимущества
Стеклянная	– Увеличивается прочность при сжатии (растяжении) и на изгиб;	– Повышает ударопрочность; – достигаются высокая плотность и равномерность армирования
Полипропиленовая	– повышается термическая устойчивость; – сокращаются сроки возведения сооружений; – снижается расход материалов;	– Повышает пластичность цементного раствора; – уменьшает удельный вес смеси; – повышает износостойкость бетонных конструкций; – повышаются водонепроницаемость и морозостойкость
Базальтовая	– увеличивается степень сопротивления трещинообразованию	– Обладает электроизоляционными свойствами; – не поддерживает горение; – экологичность
Стальная		– Снижает толщину бетонирования и массу без потери несущей способности; – повышает устойчивость к динамическим нагрузкам; – улучшает гидроизоляционные характеристики сооружений

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 вертикальном направлении. 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. 7).

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

Рис. 7. Пример использования армирования бетонной смеси при 3D-печати
Fig. 7. Example of reinforcing a concrete mixture with 3D-printing

В 2012 г. профессор Университета Южной Калифорнии Бехор Кошевис представил свой инновационный проект 3D-принтера для строительства домов, а также технологию Contour Crafting [10]. Технология «контурного» строительства (Contour Crafting) заключается в экструзии (выдавливании) слой за слоем специального быстротвердеющего реакционно-порошкового бетона по заложенному программой контуру. Могут использоваться более дешевые виды бетонов, такие как мелкозернистый и песчаный бетон, модифицированный добавками (гиперпластификаторы, ускорители твердения, фибра). Особенность технологии заключается в подключении дополнительного инструмента машины – манипулятора, устанавливающего в проектное положение несущие и поддерживающие элементы конструкции, инженерные коммуникации (перекрышки, 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 м². 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 Foundation Robot закладывает основу будущего объекта, «выращивая» первые 20 слоев. Затем на вершине структуры помещается Grip Robot, который двигается 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 застывала 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.

Библиографический список

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. – С. 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. – С. 314–319.
10. Brooks H., Lupeanu M.E., Piorkowski B. Research towards high speed extrusion free-forming // 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> (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.

References

1. Rakitin S.Ju., Il'kubaev A.A. Formirovanie poslojnyh konturov 3d-modelej dlja additivnogo proizvodstva [The formation of the layered contours of the 3d models for additive manufacturing]. *Universitetskij kompleks kak regional'nyj centr obrazovaniya, nauki i kul'tury Materialy Vserossijskoj nauchno-metodicheskoy konferencii. Sbornik*. Orenburg, 2016, pp. 223-230.

2. Obzornaja stat'ja po 3D-stroitel'nym tehnologijam [Review of the 3D construction technology], available at: <http://geektimes.ru/post/224299/> (accessed 14 December 2016).

3. Malysheva V.L., Krasimirova S.S. Lazernaja stereolitografija – novyj podhod k stroitel'stvu sooruzhenij [Laser stereolithography is a new approaching to the construction]. *Vestnik PNIPU. Master's Journal*, 2013, no. 2, pp. 202-208.

4. Rudjak K.A., Chernyshev Ju.O. Vozvedenie zdaniy metodom poslojnogo jekstrudirovaniya [Construction of buildings by the method of layer-by-layer extrusion]. *Sovremennye koncepcii razvitija nauki*, 2016, pp. 147-151.

5. Kompanija «Winsun» 3D proektirovanie domov [The company «Winsun» 3D design of houses], available at: <http://www.yhbm.com/index.php?a=lists&c=index&catid=67&m=content> (accessed 14 December 2016).

6. Mustafin N.Sh., Baryshnikov A.A. Novejshie tehnologii v stroitel'stve. 3D printer [The latest technology in construction. 3D printer]. *Regional'noe razvitie: jelektronnyj nauchno-prakticheskij zhurnal*. 2015. № 8 (12). URL: <https://regrazvitie.ru/novejshie-tehnologii-v-stroitelstve-3d-printer>.

7. Austin S.A., Lim S., Buswell R.A., Gibb A.G.F., Thorpe T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures*, 2012, no. 8-45, pp. 1221-1232.

8. Lysych M.N., Shabanov M.L., Voroncov R.V. Materialy, dostupnye v ramkah razlichnyh tehnologij 3d pechati [The materials available within the different 3d printing technologies]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2015, no. 5, pp. 20-25.

9. Youjiang Wang, Wu H.C., Victor C. Li. Concrete reinforcement with recycled fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2000, no. 4-12, pp. 314-319.

10. Brooks H., Lupeanu M.E., Piorkowski B. Research towards high speed extrusion free-forming. *International Journal of Rapid Manufacturing*, 2013, vol. 3, no. 2-3, pp. 154-171.
11. Pечат' domov na 3D printerev [Print houses on a 3D printer], available at: <http://make-3d.ru/articles/3d-printer-dlya-pechati-domov/> (accessed 14 December 2016).
12. Zotov S.P., Menzulov L.A., Vartanov O.S. Tehnologija 3d-pechati zdaniy i otdel'nyh arhitekturnyh form [The technology of 3d printing buildings and private architectural forms], available at: <http://evo7day.ru/post.php> (accessed 10 December 2016).
13. «Specavia». Pervyj opyt pečati zdaniy 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/> (accessed 10 December 2016).
14. Petreneva O.V., Pikuleva V.O., Jushmanov A.V. Problemy vnedrenija innovacionnyh tehnologij i materialov v stroitel'stve [Problems of introduction of innovative technologies and materials in construction]. *Stroitel'stvo i arhitektura. Opyt i sovremennye tehnologii*, 2015, no. 5-2. 7 p.
15. Kulebjakin A.A. Novye tehnologii. Razvitie 3d-pechati: perspektivy i posledstvija [New technology. The development of 3d printing: opportunities and consequences]. *Molodezhnyj nauchno-tehnicheskij vestnik*, 2015, no. 3, p. 48.