

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-134-141

^{1,*}Кириллова Н.К., ²Алексеева А.Н., ²Егорова А.Д.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

*E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Аддитивные технологии, позволяющие создавать различные по сложности объемные объекты становятся востребованными в разных отраслях. Наблюдается увеличение масштабов внедрения технологий 3D-печати в строительной, в том числе и в производстве керамических изделий. С помощью современных аддитивных технологий создаются разные модели, изделия и конструкции. Они могут быть сложными, их можно изготавливать из разных материалов. Эксперты размышляют, какое же будущее ждет аддитивные технологии в строительстве, а также в керамическом производстве, ведь эти технологии позволяют экономить ресурсы, сокращать время технологического процесса, формировать сложные формы.

В статье представлен аналитический обзор мирового применения аддитивных технологий в строительстве, а также при производстве керамических изделий. Рассмотрены преимущества и недостатки, возможности 3D-печати. Создание керамических трехмерных изделий – это пока мало распространенная область аддитивных технологий, требующая исследований. Производство керамических изделий, превосходящие другие материалы по высокотемпературной прочности, твердости, химической и термической стойкости имеют высокий потенциал для использования аддитивных технологий. Проанализированы типы строительных 3D-принтеров и сырья для них. Приведены результаты исследования свойств глинистого сырья Санниковского, Намцырского и Кангаласского месторождений Республики Саха (Якутия).

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D – печать, глинистое сырье, глинистые минералы, гранулометрический состав.

Введение. Применение аддитивных технологий (АТ) в производстве трехмерных изделий, посредством 3D печати, является инновационным решением. Интерес к таким технологиям возрастает с каждым днем во всем мире, так как повышается потребность рынка в более экономичных и менее трудоемких разработках. Эти изобретения нашли применения в самых разных областях производства: строительстве, судостроении, машиностроении, фармакологии и медицине, нефтегазовой и сельскохозяйственной промышленности, космонавтике. Особо бурное развитие АТ протекает в зарубежных странах, таких как США, Германия, Япония и Китай, однако, на счету России имеется большое количество разработок, позволяющих получить изделия сложных форм и разных размеров [1]. Frost & Sullivan пишет, что ежегодно растет темп роста рынка в мире аддитивных технологий на 15 % [16].

Основная часть. В Frost & Sullivan к характерным особенностям мирового рынка аддитивных технологий относят следующее:

- За счет использования разных материалов, уменьшения сроков и стоимости идет быстрое развитие аддитивных технологий;
- Повышаются масштабы внедрения технологий 3D-печати в разных областях производства;

- Использование аддитивных технологий, позволяет сократить расходы и время на всех этапах разработки на 70 и более процентов;

- Увеличение объема финансирования научных исследований в сфере аддитивного производства;

- Формирование консорциумов приводит к консолидации рынка, объединяет предприятия, университеты, а также и исследовательские центры, бывших конкурентов. Каждый год появляются новые компании, но они исчезают быстро, из-за того, что не выдерживают конкуренции.

- Создание и открытие организаций, специализирующихся по аддитивным технологиям, для объединения научных кругов, занимающихся решением данных вопросов.

По информации Frost & Sullivan, доля России в мировом рынке аддитивных технологий составляет всего 1 % на 2018 год, от лидеров идет большое отставание. Такое отставание идет по всем направлениям, начиная от производства оборудования для аддитивных технологий, до сырьевых материалов [15].

Применение аддитивным технологиям нашлось и в строительстве, где технология 3D-печати позволяет значительно облегчить ряд производственных этапов. Основной проблемой на данный момент является подбор составов смесей для печатания материалов [4].

Разработка технологий строительной печати требует видения со стороны специалистов разных направлений, начиная специалистов по строительной физике и до специалистов по маркетингу [5].

Технологии 3D-печати в строительстве

Суть 3D-печати строительных конструкций является в послойном нанесении строительной смеси по САД-модели. С помощью данной технологии изготавливаются разные строительные конструкции, бетонные изделия. При этом сокращается время цикла, в 8–12 раз, от проектирования до производства, за счет отсутствия опалубки происходит экономия средств и времени [20].

Рассмотрим основные типы строительных 3D-принтеров:

1. Портальные – в которых печатающая головка перемещается по направляющим в пределах рабочей зоны, ограниченной по площади (X, Y координаты) опорами и по высоте (Z) – расстоянием до головки при ее максимальном подъеме. Пример – принтеры компаний Winsun (Китай) и ООО «Спецавиа» (АМТ – резидент Сколково, Россия);

2. Разновидность портальных принтеров с так называемым Дельта-приводом головки. Идея нашла широкое применение в пластиковых 3D-принтерах, работающих по технологии FDM. Пример – принтеры компании WASP (Италия).

3. Мобильные 3D-принтеры, когда 3D-принтер оснащен рукой-роботом и установлен на шасси, которое может перемещаться самостоятельно или с помощью крана.

4. Роботизированные комплексы: оснащены рукой-роботом KUKA, ABB и других производителей. Робот может перемещаться в пределах рабочей зоны по направляющим рельсам. При этом зона застройки практически не ограничена.

5. Гибридные конструкции:

– комбинация портального 3D-принтера и робота (компания Contour crafting corporation (CCC),

– управление печатающей головкой (с использованием полярных координат) и перемещением по высоте происходит за счет использования телескопического устройства (компания Aris Cor).

6. Комплекс для печати сетчатых структур – рука-робот для подачи металла или пластика.

7. 3D-принтеры большого формата для печати элементов декора, оформления фасадов, входных групп, окон и элементов интерьера, работающие по технологии FDM с использованием широкого круга термопластиков (Россия, ООО «Спецавиа») [3].

По периметру строительного объекта монтируются специальные рельсы, к которым впоследствии крепится принтер с заполненным смесью баком. Аппарат движется по этим рельсам и выдавливает строительные материалы на заданные места.

Также возможен вариант установки принтера в середину объекта. В таком случае устройство сходно с обычным строительным краном и благодаря вращению вокруг своей оси доставляет смеси уже по диаметру.

Преимуществами применения аддитивных технологий в строительстве являются уменьшение человеческих трудозатрат, расхода материалов, сроков строительства, качество конечного продукта, минимизация количества вредных отходов, возможность воплощения в жизнь любого решения [18].

Известные постройки на основе 3D-печати:

– Особняк компании Hua Shang Tengda.
– Китайские архитекторы из Hua Shang Tengda построили двухэтажный особняк площадью 4,305 кв. м с помощью аддитивных технологий за 45 дней.

– «Офис будущего» в Дубае.

– Строительство здания было завершено в мае 2016 года. «Офис будущего» состоит из одного этажа площадью 250 кв. м. Проект выполнен за 17 дней.

– Гостиничный комплекс в Филиппинах.

– Комплекс высотой всего в 4 метра занимает площадь 120 кв. м. На территории комплекса есть два номера и ванна-джакузи.

– Павильон Вулкан в Пекине.

– За 30 дней на 20 принтерах (FDM) были изготовлены более 1000 деталей павильона и затем собраны вместе.

– Жилой дом, Окриджская национальная лаборатория (ORNL).

– Проект AMIE (интеграция аддитивных технологий и энергии) Проект состоит из напечатанного здания и автомобиля, изготовленного с применением AM.

– Напечатанный мост в Амстердаме [19].

Первый портальный малоформатный строительный 3D-принтер разработала и представила на рынок в 2015 г. компания из Ярославля ООО «Спецавиа», ныне резидент Сколково, торговая марка «АМТ» [17].

Технологии 3D-печати в производстве керамики

При изготовлении керамических изделий, применение аддитивных технологий по сравнению с традиционными способами обеспечивают «геометрическую гибкость» сложных деталей. Однако, из-за чрезвычайно высокой температуры термообработки керамических изделий при

3D печати возникают трудности по сравнению с полимерами, металлами. Преимуществами керамики перед полимерами является температуроустойчивость, устойчивость к воздействиям, прочность. Но использование этих преимуществ затрудняют проблемы, возникающие при 3D печати с использованием керамических порошков. Это проблемы такие, как пористость, неоднородность структуры, появляющаяся в процессе печати, появление трещин [9].

Использование аддитивных технологий ограничено следующими факторами [10-14]:

1. Ограничением размеров отформованного изделия рабочей зоной оборудования;

2. Отсутствием универсальности, узким спектром материалов: конкретный метод формования связан со строго индивидуальным набором веществ;

3. Низкой скоростью формования – от нескольких часов до нескольких дней;

4. Высокими требованиями к характеристикам материалов (структура, морфология поверхности частиц, химический и фазовый состав, кристалличность, реология).

Технологическая эффективность аддитивного формования керамических изделий обусловлена:

1. Возможностью формования изделий сложных форм, которые затруднительно или невозможно получить посредством известных применяемых способов;

2. Значительным сокращением времени технологического процесса, что объясняется отсутствием необходимости проектирования и создания форм или штампов;

3. Быстрой коррекцией формы, адаптацией ее к меняющимся условиям технического задания или индивидуальностью в применении.

На сегодняшний день керамические изделия можно получить следующими известными способами АТ, когда изделие послойно формируется из расплавленной пластифицирующей массы, либо за счет послойного спекания полимера лазером, либо струйным моделированием 3D-модели с использованием связующих веществ или полной печатью детали посредством склеивания порошка.

В зависимости от вида применяемой АТ при изготовлении деталей используются различные типы сырья, которые обычно классифицируют следующим образом:

- Суспензии.

- Пасты.

- Порошки или порошкообразные смеси [2].

Классификация охватывает широкую область аддитивных технологий, объединяя по об-

щему принципу формования слоя различные методы 3D-печати, из них наибольшее развитие в области керамики получили следующие:

3DP – струйная печать; SLS – селективное лазерное спекание; SLM – селективное лазерное плавление (наплавка); DIP – прямая печать; SLA – стереолитография (отверждение фотополимерной смолы лазером); FDM – наплавка экструдированных паст.

Несмотря на достигнутое разнообразие аддитивных технологий, практически любая технология приготовления керамических материалов для 3D-печати предполагает введение керамической составляющей в виде специально приготовленного порошка со строго заданными характеристиками частиц.

Для изготовления керамических изделий методом SLS-печати, основанном на локальном спекании, разрабатывают порошки, которые должны обеспечивать необходимую спекаемость агломератов при воздействии на них световым излучением, а также стабильность геометрических размеров как во время проведения SLS, так и при последующем высокотемпературном обжиге заготовки и требуемую эксплуатационную прочность изделия.

Наиболее широко используемый экструзионный метод печати керамики FDM основан на послойном нанесении экструдированного слоя пасты поверх ранее положенного слоя. Среди материалов, применяемых для этого метода, выделяют следующие основные виды:

- дисперсия керамического порошка в среде раствора полимера (способ Fused Direct Ceramic – FDC) §

- пасты, твердеющие при температуре окружающей среды (способ Robocasting – RC) или осаждаемые с охлаждением (Freeze-form Extrusion Fabrication – FEF).

Метод FDM получил существенное развитие благодаря совершенствованию технологии печати керамическими порошками с добавками полимерных связующих [1].

Для исключения деформации геометрии детали в процессе печати, необходимо быстрое охлаждение (до температур < 30 °C) суспензии при выходе из сопла (это достигается за счет использования системы подачи сжатого воздуха к месту инъектирования). Полученную заготовку подвергали предварительному обжигу для удаления технологической связки с последующим высокотемпературным обжигом [7].

С помощью современных аддитивных технологий создаются разные модели, изделия и конструкции. Они могут быть сложными, их можно изготавливать из разных материалов. Керамические и мраморные трехмерные объекты –

это пока неизведанная область 3D-печати. Хотя, возможно, уже и нет. Один из известных мировых брендов для 3D-печати – это принтер компании Tethon 3D. Tethon 3D – компания, которая подала заявку на патент, главным образом касающийся данного вопроса. Создание керамических трехмерных изделий – это пока малораспространенная область аддитивных технологий.

Все это объясняется необходимостью интенсивной обработки материала, включая его обжиг и глазирование. Еще одна проблема – применение порошковых исходников и связанная с этим небольшая прочность готовых изделий. Tethon 3D решила модернизировать процесс струйной 3D-печати использованием пресса. Он будет применяться с целью уплотнения свеженанесенных слоев. Это поможет улучшить плотность готовых керамических моделей после обжига.

Работоспособность данной концепции уже была подтверждена. Для этого компания использовала рабочий прототип 3D-принтера и керамические порошки собственного производства «Tethonite» [9].

В компании HRL Laboratories (США) разработали технологию 3D-печати высокопрочной керамики. Материал, который получили исследователи, HRL Laboratories обладает рекордно высокой термостойкостью, прочностью. Промышленное применение керамических материалов при создании изделий сложной формы ограничено, так как механическая обработка керамики – это процесс долгий и очень дорогой, требует использования алмазных инструментов. Из-за этих расходов уходит до 80 % производственных затрат.

Тобиас Шэдлер написал, что использование 3D-печати дает возможность создавать продукцию любой геометрии, но пока с использованием данной технологии невозможно было делать высокопрочные и термостойкие керамические изделия, пригодные для инженерных разработок.

Сотрудники HRL Laboratories, Зак Эккель и Чаоинь Чжоу разработали специальный прокерамический полимер, выступающий в качестве полуфабриката, выдерживает температуры как минимум до 1700° С. После изготовления, изделие подвергается высокотемпературному обжигу, и в результате становится керамическим (состав, которого состоит из 36 % кислорода, 33 % углерода, 26 % кремния, и 4 % серы).

Технология основывается на производной от полимеров керамики. Основа ещё в 1960-х годах была придумана, в таких полимерах присутствуют основные составляющие керамики, кремний и азот. Исследователи HRL Laboratories раз-

работали новый материал, и новый процесс выращивания объекта в жидкой среде. Для производства используются аддитивные технологии, такие как лазерная стереолитография (SLA), новый метод Self-propagating wave-guide technology. Суть нового метода в том, что полуфабрикат не может пропускать ультрафиолетовое излучение, как готовый полимер. В результате можно быстрее полимеризовать большие области заготовки.

Возможности данного метода исследователи HRL Laboratories показали, напечатав несколько сложных конструкций, с решетчатой и сотовой структурой. По данным публикации, изделия получились высокопрочными, готовые изделия выдерживали большие нагрузки по сравнению с изделиями аналогичных материалов. Полученные разработки могут применяться, при создании реактивных двигателей и производстве микроэлектромеханических систем [8].

Экспериментальная часть. На первом этапе для определения влияния свойств глинистого сырья на возможность их применения в аддитивных технологиях были выбраны глины Санниковского, Намцырского и Кангаласского месторождений Республики Саха (Якутия). Санниковское месторождение расположено в двух километрах к западу от с. Намцы и в 84 км к северу от г. Якутска, Намцырское в 25 км к западу от г. Якутска, а Кангаласское в 46 км к северу от г. Якутска [6]. Глинистое сырье данных месторождений исследовали с целью определения химического состава и физико-механических характеристик. Химический состав глин приведен в табл. 1.

Глинистое сырье Санниковского месторождения по химическому составу относится к легкоплавким глинам с высоким содержанием красящих оксидов (оксида железа), Намцырского – легкоплавким со средним содержанием красящих оксидов, а Кангаласского – тугоплавким, беложгущимся глинам.

По данным рентгенофазового анализа глины Санниковского месторождения относятся к каолинит-гидрослюдистым глинам, также присутствуют минералы примеси: кварц и анортит. Намцырская глина имеет сложный полиминеральный состав, обнаружены минералы подгруппы кварца, альбит, ортоклаз, а также каолинит и гидрослюдистые минералы. Кангаласская глина представлена минералами каолинита, кварца, а также галлуазита.

Выявлено, что глины имеют разную гранулометрию, а, следовательно, и такие технологические свойства как пластичность и чувствительность к сушке.

Таблица 1

Химический состав глинистого сырья

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	п.п.п.
Санниковское месторождение	61,44	4,24	4,28	2,14	14,40	0,57	2,64	2,11	0,73	8,06
Намцырское месторождение	63,57	22,38	0,54	0,55	1,70	0,30	2,49	0,95	0,80	5,38
Кангаласское месторождение	60,28	34,38	0,69	0,49	0,95	–	0,78	0,33	1,49	–

Определены физические и технологические характеристики исследуемого глинистого сырья, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физические и технологические свойства глинистого сырья

Показатель	Ед. изм.	Наименование месторождения глин		
		Санниковское	Намцырское	Кангаласское
Зерновой состав:				
глинистые частицы	%	10,2	13,5	11,3
пылевидные частицы	%	46,9	46,1	34,4
песчаные частицы	%	42,9	40,4	54,3
Число пластичности	%	9,8	15,1	7,1
Воздушная линейная усадка	%	5,8	6,7	3,7

Выводы:

1. При ежедневно возрастающем мировом интересе к аддитивным технологиям, доля России в мировом рынке аддитивных технологий составляет всего 1%, от лидеров идет большое отставание. Такое отставание идет по всем направлениям, начиная от производства оборудования для аддитивных технологий, до сырьевых материалов

2. Применение аддитивным технологиям нашлось и в строительстве, где технология 3D-печати позволяет значительно облегчить ряд производственных этапов. Основной проблемой на данный момент является подбор составов смесей для печатания материалов.

3. Преимуществами применения аддитивных технологий в строительстве являются: экономия, за счет уменьшения сроков строительства и человеческих физических ресурсов, экологичности, за счет минимизирования количества вредных отходов от строительства; качество, за счет уменьшения количества просчетов, а также исключения человеческого фактора; возможности.

4. Создание керамических трехмерных изделий – это пока малораспространенная область аддитивных технологий. Компания Tethon 3D модернизировала процесс струйной 3D-печати использованием прессы и керамических порошков собственного производства. Пресс будет применяться с целью уплотнения свеженанесенных

слоев. Это поможет улучшить плотность готовых керамических моделей после обжига. Работоспособность данной концепции уже была подтверждена.

5. Выбрано глинистое сырье Республики Саха (Якутия) для дальнейшего определения пригодности применения в аддитивных технологиях. Определены химический состав и физико-технологические свойства, которые показывают различный гранулометрический состав, что является важным для аддитивных технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глазунов В.С., Черепанова М.В. Применение аддитивных технологий в производстве керамических изделий // Вестник ПНИПУ. 2018. №4. С. 174–186.
2. Крахматова В.Ю., Захаров А.И. Формирование массы аддитивного производства керамических изделий // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 7. С. 53–54.
3. Максимов Н.М. Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы// Аддитивные технологии. 2017. №4. С. 54–62.
4. Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Шаталова С.В., Стариков М.С. Формирование свойств композиций для строительной печати // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 6–13. DOI: 10.12737/article_59cd0c57ede8c1.83340178.

5. Елистраткин М.Ю., Лесовик В.С., Алфинова Н.И., Глаголев Е.С. О развитии технологий строительной печати // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №5. С. 11-16. DOI: 10.12737/article_5af5a727274397.04099320.

6. Борисов Н.Н., Кочнев Н.Н. Объяснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2500000. В 2-х томах. Том I. М.: Союзгеолфонд, 1988. 421 с.

7. Промахов В.В., Жуков И.А., Ворожцов С.А. Аддитивный способ формования изделий из порошков тугоплавких соединений // Ползуновский вестник. 2016. Т.1. №4. С. 59–63.

8. Eckel Z.C., Zhou C., Martin J.H., Jacobsen A.J., Carter W.B., Schaedler T.A., Additivemanufacturing of polymer-derived ceramics // Science. 2016. Vol. 351, Issue 6268. Pp. 58–62. DOI: 10.1126/science.aad2688.

9. Zak C. Eckel, Chaoyin Zhou, John H. Martin, Alan J. Jacobsen, William B. Carter and Tobias A. Schaedle. Additive manufacturing of polymer-derived ceramics // Science. 2016ю Vol. 351, Issue 6268. Pp. 58–62.

10. Faes M., Ferraris E., Vleugels J., Vogeler F. Extrusion-based additive manufacturing of ZrO₂ using photoinitiated polymerization // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2016. No. 14. Pp. 28–34.

11. Sardarian M., Mirzaee O., Habibolahzaden A. Numerical simulation and experimental investigation on jetting phenomenon in low pressure injection molding (LPIM) of alumina // Journal of Materials Processing Technology. 2017. Vol. 243. Pp. 374–380.

12. Gonzalez J.A., Lin Y., Mireles J., Wicker R.B. Characterization of ceramic components fabricated using binder jetting additive manufacturing

technology // Original Research Article Ceramics International. 2016. Vol. 42, Issue 9. Pp. 10559–10564.

13. Zocca A., Colombo P., Gomes C.M. Additive Manufacturing of Ceramics // Potentialities, and Opportunities. 2015. No. 9. Pp. 637–643.

14. Yoo J., Cima M.J., Khanuja S. Structural ceramic components by 3D printing // Solid FreeForm Fabr. Symp. 1995. Pp. 479–488.

15. Offering Automated Construction of Various Types of Structures [Электронный ресурс]. URL: <http://contourcrafting.com/building-construction/> (Дата обращения: 16.09.2019).

16. Объем российского рынка аддитивных технологий в 2018 году может превысить 6 млрд рублей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.3dpulse.ru/news/analitika/obyom-rossiiskogo-rynka-additivnyh-tehnologii-v-2018-godu-mozhet-prevysit-6-mlrd-rublei/> (Дата обращения: 15.10.2019)

17. Первый в Европе жилой дом, напечатанный на 3D-принтере, представили в Ярославле [Электронный ресурс]. URL: <https://specavia.pro/articl/pervyj-v-evrope-zhiloj-dom-napechatannyj-na-3d-printere-predstavili-v-yaroslavle/> (Дата обращения: 11.09.2019).

18. Аддитивное производство (АП) Additive Manufacturing (AM) [Электронный ресурс]. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/\(Additive_Manufacturing\)](http://www.tadviser.ru/index.php/(Additive_Manufacturing)) (Дата обращения: 15.10.2019).

19. Аддитивные технологии для печати керамики [Электронный ресурс]. URL: <http://integral-russia.ru/2016/12/30/additivnye-tehnologii-dlya-pechati-keramiki/> (Дата обращения: 17.10.2019).

20. Аддитивные технологии в строительстве [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-expo.ru/ru/article/additivnie-tehnologii-v-stroitelstve-75947> (Дата обращения: 17.10.2019).

Информация об авторах

Егорова Анастасия Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций. E-mail: eg_anastasy2004@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Белинского, д. 58.

Алексеева Анжелика Николаевна, аспирант кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций. E-mail: vervilangi@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Белинского, д. 58.

Кириллова Наталья Константиновна, аспирант кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Кириллова Н.К., Алексеева А.Н., Егорова А.Д., 2020

^{1,*}*Kirillova N.K.*, ²*Alekseeva A.N.*, ²*Egorova A.D.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

²*North-East Federal University named after M.K. Ammosov*

*E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION AND IN THE PRODUCTION OF CERAMIC PRODUCTS

Abstract. Additive technologies that allow creating volume objects of different complexity are becoming popular in different industries. There is an increase in the scale of introduction of 3D printing technologies in the construction industry, including in the production of ceramic products. With the help of modern additive technologies, different models, products and designs are created. They can be complex and can be made from different materials. Experts are wondering what the future holds for additive technologies in construction, as well as in ceramic production, as these technologies can save resources, reduce the time of the technological process and form complex shapes.

The article presents an analytical review of the global application of additive technologies in construction, as well as in the manufacture of ceramic products. The advantages and disadvantages, the possibilities of 3D printing are considered. The creation of ceramic three-dimensional products is still a rare area of additive technologies that requires research. The production of ceramic products, superior to other materials in terms of high temperature strength, hardness, chemical and thermal resistance, has a high potential for the use of additive technologies. The types of construction 3D printers and raw materials for them are analyzed. The results of a study of the properties of clay raw materials of the Sannikovsky, Namtysrsky and Kangalassky deposits of the Republic of Sakha (Yakutia) are presented.

Keywords: Additive technology, 3D printing, clay raw materials, clay minerals, particle size distribution.

REFERENCES

1. Glazunov V.S., Cherepanova M.V. The use of additive technologies in the manufacture of ceramic products [Primenenie additivnykh tekhnologij v proizvodstve keramicheskikh izdelij]. Bulletin of PNIPU. 2018. No. 4. Pp. 174–186. (rus)
2. Krahmatova V.YU., Zaharov A.I. The formation of the mass of the additive production of ceramic products [Formirovanie massy additivnogo proizvodstva keramicheskikh izdelij]. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2016. No. 7. Pp. 53–54. (rus)
3. Maksimov N.M. Additive technologies in construction: equipment and materials [Additivnye tekhnologii v stroitel'stve: oborudovanie i materialy]. Additive Manufacturing. 2017. No. 4. Pp. 54–62. (rus)
4. Lesovik V.S., Elistratkin M.YU., Glagolev E.S., SHatalova S.V., Starikov M.S. Formation of properties of compositions for building printing [Formirovanie svoystv kompozicij dlya stroitel'noj pechati]. Bulletin BGTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 10. Pp. 6–13. doi: 10.12737/article_59cd0c57ede8c1.83340178. (rus)
5. Elistratkin M.YU., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Glagolev E.S. On the development of building printing technologies [O razvitii tekhnologij stroitel'noj pechati]. Bulletin BGTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 5. Pp. 11–16. doi: 10.12737/article_5af5a727274397.04099320. (rus)
6. Borisov N.N., Kochnev N.N. Explanatory note to the overview map of deposits of building materials of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic on a scale of 1: 2500000 [Ob"yasnitel'naya zapiska k obzornoj karte mestorozhdenij stroitel'nykh materialov Yakutskoj ASSR masshtaba 1:2500000]. 1988. Vol. 1. 421 p. (rus)
7. Promahov V.V., Zhukov I.A., Vorozhcov S.A. The additive method of molding products from powders of refractory compounds [Additivnyj sposob formovaniya izdelij iz poroshkov tugoplavkih soedinenij] Polzunovskij bulletin. 2016. Vol.1. No. 4. Pp. 59–63. (rus)
8. Eckel Z.C., Zhou C., Martin J.H., Jacobsen A.J., Carter W.B., Schaedler T.A., Additivemanufacturing of polymer-derived ceramics. Science. 2016. Vol. 351. Issue. 6268. Pp. 58–62. doi: 10.1126/science.aad2688.
9. Zak C. Eckel, Chaoyin Zhou, John H. Martin, Alan J. Jacobsen, William B. Carter and Tobias A. Schaedle. Additive manufacturing of polymer-derived ceramics. Science. 2016: Vol. 351. Issue. 6268. Pp. 58–62.
10. Faes M., Ferraris E., Vleugels J., Vogeler F. Extrusion-based additive manufacturing of ZrO₂ using photoinitiated polymerization. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2016. No. 14. Pp. 28–34.
11. Sardarian M., Mirzaee O., Habibolahzaden A. Numerical simulation and experimental investigation on jetting phenomenon in low pressure injection molding (LPIM) of alumina. Journal of Materials Processing Technology. 2017. Vol. 243. Pp. 374–380.

12. Gonzalez J.A., Lin Y., Mireles J., Wicker R.B. Characterization of ceramic components fabricated using binder jetting additive manufacturing technology. Original Research Article Ceramics International. 2016. Vol. 42. Issue. 9. Pp. 10559–10564.

13. Zocca A., Colombo P., Gomes C.M. Additive Manufacturing of Ceramics. Potentialities, and Opportunities. 2015. No. 9. Pp. 637–643.

14. Yoo J., Cima M.J., Khanuja S. Structural ceramic components by 3D printing. Solid FreeForm Fabr. Symp. 1995. Pp. 479–488.

15. Offering Automated Construction of Various Types of Structures. URL: <http://contourcrafting.com/building-construction/> (date of treatment: 16.09.2019).

16. The volume of the Russian additive technology market in 2018 may exceed 6 billion rubles.

URL: <https://www.3dpulse.ru/news/analitika/obyom-rossiiskogo-rynka-additivnyh-tehnologii-v-2018-godu-mozhet-prevysit-6-mlrd-rublei/> (date of treatment: 15.10.2019)

17. The first 3D-printed residential building in Europe presented in Yaroslavl. URL: <https://specavia.pro/articles/pervyj-v-evrope-zhiloj-dom-napechatannyj-na-3d-printere-predstavili-v-yaroslavle/> (date of treatment: 11.09.2019).

18. Additive Manufacturing (AM). URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/\(Additive_Manufacturing\)](http://www.tadviser.ru/index.php/(Additive_Manufacturing)) (date of treatment: 15.10.2019).

19. Additive technology for ceramic printing. URL: <http://integral-russia.ru/2016/12/30/additivnye-tehnologii-dlya-pechati-keramiki/> (date of treatment: 17.10.2019).

20. Additive technologies in construction. URL: <https://3d-expo.ru/ru/article/additivnie-tehnologii-v-stroitelstve-75947> (date of treatment: 17.10.2019).

Information about the authors

Egorova, Anastasiya D. PhD, Assistant professor. E-mail: eg_anastasy2004@mail.ru. North-East Federal University named after M.K. Ammosov. Russia, 677000, Yakutsk, Belinsky str., 58.

Alekseeva, Anjelika N. Postgraduate student. E-mail: vervilangi@mail.ru. North-East Federal University named after M.K. Ammosov. Russia, 677000, Yakutsk, Belinsky str., 58.

Kirillova, Nataliya K. Postgraduate student. E-mail: natakir91@icloud.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2019

Для цитирования:

Кириллова Н.К., Алексеева А.Н., Егорова А.Д. Применение аддитивных технологий в строительстве и при изготовлении керамических изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 134–141. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-134-141

For citation:

Kirillova N.K., Alekseeva A.N., Egorova A.D. Application of additive technologies in construction and in the production of ceramic products. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 134–141. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-134-141