

АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИ ВНЕДРЕНИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Инновационные технологии внедряются практически в каждую отрасль жизнедеятельности человечества, одна из таких крупных отраслей как строительство, на сегодняшний день отличается высокими трудозатратами и является наименее автоматизированной. Методы строительных технологий жилого сектора остаются неизменными долгие годы, а существующие технологии строительства не в состоянии решить появляющиеся задачи и проблемы, в связи с чем, необходимы новые подходы к строительству и соответственно к проектированию. Переход от классических технологий возведения зданий к аддитивным при помощи строительной 3D-печати может стать решением данной проблемы.

Трехмерная печать представляет собой процесс получения физического объекта по его цифровой трехмерной модели, путём послойного наращивания материала. Поскольку при производстве объекта материал «наращивается» слой за слоем, такая технология называется также аддитивной. В настоящее время аддитивные технологии широко применяются в различных сферах деятельности человека: медицине, машиностроении, дизайне, а также им начинают находить применение в архитектурном проектировании и строительстве.

Цель статьи – провести исследование и определить методы создания архитектурных объектов, возводимых при помощи аддитивных технологий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор отечественного и зарубежного опыта проектирования, строительства и эксплуатации зданий, построенных по аддитивной технологии;*
- определить будущие возможности применения аддитивных технологий в архитектуре;*
- структурировать информацию по теме исследования.*

Для решения поставленных задач используются методы исторического и сравнительного анализа, прогноза, синтеза полученных результатов.

Использование цифрового проектирования и технологий аддитивного производства предоставит возможность реализовать самые сложные архитектурные замыслы проектировщика, которые раньше были ограничены методами возведения объектов и конструктивными нагрузками.

Ключевые слова: аддитивные технологии, архитектура, формообразование, современные тенденции строительства, проектирование, 3D-печать.

ARCHITECTURAL DESIGN DURING IMPLEMENTATION ADDITIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

Innovative technologies are being introduced into almost every sector of human life, one of such large industries as construction, today is characterized by high labor costs and is the least automated. The methods of construction technologies of the residential

sector remain unchanged for many years, and the existing construction technologies are not able to solve the emerging tasks and problems, and therefore, new approaches to construction and, accordingly, to design are needed. The transition from classical building construction technologies to additive ones using construction 3D printing can be a solution to this problem.

Three-dimensional printing is a process of obtaining a physical object from its digital three-dimensional model, by layer-by-layer building up of material. Since the material is “built up” layer by layer during the production of an object, this technology is also called additive. At present, additive technologies are widely used in various fields of human activity: medicine, mechanical engineering, design, and they are also beginning to find application in architectural design and construction.

The purpose of the article is to conduct research and determine methods for creating architectural objects built using additive technologies.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

- conduct a review of domestic and foreign experience in the design, construction and operation of buildings built using additive technology;
- to determine the future possibilities of application of additive technologies in architecture;
- structure information on the topic of research.

To solve the tasks set, methods of historical and comparative analysis, forecast, and synthesis of the results obtained are used.

The use of digital design and additive manufacturing technologies will provide an opportunity to realize the most complex architectural ideas of the designer, which were previously limited by the methods of erecting objects and structural loads.

Keywords: additive technologies, architecture, shaping, modern construction trends, design, 3D printing.

Работа человечества в сфере цифровых технологий, на протяжении многих лет, привела к идее послойного создания объектов с помощью 3D-принтера по заранее разработанной математической модели. Данная технология нанесения материала на основу называется аддитивной. В случае традиционного производства подобных объектов, изначально имеется заготовка, от которой, например, отсекается все лишнее, либо происходит процесс деформации заготовки, то в случае с аддитивной технологией из аморфного расходного материала выстраивается новое изделие [1,16].

Трёхмерная печать (далее 3D-печать) ведёт свою историю с 1980 года, когда доктор муниципального промышленного исследовательского института в Нагоя, Хидео Кодاما, подал заявку на регистрацию патента на устройство, которое с помощью УФ-засветки послойно формировало жесткий объект из фотополимерной смолы [5].

В 1983 году трое инженеров – Ален Ле Мехо, Оливье де Витт и Жан-Клод Андрэ из французского национального центра научных исследований, в попытке создать то, что они называли «фрактальным объектом», пришли к идее использования лазера и мономера, который под воздействием лазера

превращался в полимер. Заявку на патент они подали за 3 недели до американца Чака Хала. Первым объектом, созданным на аппарате, стала винтовая лестница. Технологию инженеры назвали стереолитографией, а патент был одобрен только в 1986 году. Благодаря им самый известный формат файла для 3D-печати и называется STL (от англ. stereolithography). К сожалению, институт не разглядел перспектив в изобретении и его коммерциализации, и патент не был использован для создания конечного продукта [2,3]. В тоже самое время Американец Чак Халл разработал технологию послойного выращивания физических трёхмерных объектов из фотополимеризующейся композиции (ФПК). Технология получила название «стереолитографии» (STL). Патент на своё изобретение автор получил только в 1986 году, тогда же он основал компанию 3D System и приступил к разработке первого промышленного устройства для трёхмерной печати, которое было представлено общественности год спустя, в 1987 году [3,16].

Еще один новый способ 3D-печати появился примерно в то же время, что и STL-печать. Это селективное лазерное спекание SLS, при котором лазер используется для превращения сыпучего порошка (вместо смолы)

в твердый материал. Разработкой занимались Карл Декард, молодой студент бакалавриата в Техасском университете в Остине, и его преподаватель, профессор, доктор Джо Биман. Причем идея принадлежала Карлу. В 1987 году они вместе основали корпорацию Desk Top Manufacturing (DTM) Corp. Однако пройдет еще не менее 20 лет, пока SLS 3D-печать станет коммерчески доступной потребителю [5].

В 1988 году, авиационный инженер, Скотт Крамп (США) запатентовал технологию трехмерной печати с помощью послойной заливки расплавленной нити полимера (FDM) [4].

В начале XXI века сразу несколько независимых групп ученых, из разных стран, начали исследования в области технологии 3D-печати в сфере строительства. В 2012 году были представлены первые потребительские строительные 3D-принтеры, а уже через два года был возведен первый экспонат одноэтажного жилья компанией Shanghai WinSun (Китай) [6].

Первооткрывателем в напечатании со-

ружений в человеческом масштабе стал робототехник родом из Италии Энрико Дини. В 2009 году Энрико вместе с архитектором Андреа Моргане смог с помощью своего, довольно крупного и похожего на осветительную установку для сцены, D-образного принтера напечатать павильон, по форме напоминающий яйцо, но выполненный в виде каркасной структуры. Примечательно, что принтер использовал, в качестве строительного материала песок и химические связующие вещества.

Ещё одним примером маломасштабного жилого строительства с использованием 3D-принтера может послужить небольшой дом, который установили на площади Чезаре Беккариа в рамках Миланской недели дизайна (рис.2). Авторы проекта – бюро CLS Architects и Arup – продемонстрировали новаторскую идею строительства с безотходной технологией [7].

Через один из каналов Амстердама прокинули ажурный мост (рис.2), изготовленный при помощи 3D-принтера. Разработкой



Рис. 1. Общий вид напечатанного бетонного дома для Миланской выставки «Salone del Mobile»



Рис.2. Открытие первого в мире распечатанного на 3D-принтере стального пешеходного моста

дизайна моста занималась лаборатория Joris Laarman Lab. Мост имеет символическое значение оно кроется в соединении старого города с технологиями будущего. Используемый принтер имеет возможности создания пространственной структуры из металла, путём его наплавки.

Китайская строительная компания WinSun применяя несколько порталных 3D-прин-

теров возвела за 17 дней офисный комплекс «Dubai Future Foundation» расположенный в ОАЭ (рис. 3). Аддитивные технологии применили и для создания интерьеров офисных пространств. Объект изначально был напечатан фирмой WinSun в мастерской, после чего собран в течение двух дней уже на месте [8].

Строительные аддитивные технологии в России не отстают от мировой практики, в



Рис. 3. Общий вид офиса «Dubai Future Foundation» ОАЭ, Дубай

нашей стране есть свои специалисты в этой области. Одна из известных компаний – это ООО «Спецавиа» из Ярославля, являющаяся резидентом Сколково.

Эта компания изначально была ориентирована на сегмент малого бизнеса, как основного заказчика оборудования для создания малых архитектурных форм. Но после оказалось, что крупные игроки строительного рынка заинтересованы больше в крупномасштабном оборудовании. Тогда компания разработала линейку из 7 основных типов порталных 3D-принтеров, выпускаемых как серийно, так и по специальным требованиям заказчиков [9]. Это машины малого формата (объем строительных конструкций до 36 куб. м) для печати частей зданий, которые за счет разработанных технических решений могут быть интегрированы в типовые проекты домов индивидуального жилищного строительства; принтеры для строительства домов площадью до 140 кв. м и более до двух этажей:

- стационарные для печати домов площадью до 140 кв. м в 2 этажа;
- мобильные, позволяющие печатать дом или серию домов без ограничения площади застройки и высоты объекта.

Используемый материал для принтеров: пескобетон М300–М500, геополимерный бетон, гипс, специализированные смеси. Принтер легок в управлении и обслуживании. Программа обучения персонала работе на принтере рассчитана на 16 часов [9].

И на сегодняшний день есть несколько реализованных проектов. «Напечатанный» жилой дом в Ярославле – самое большое здание в Европе и СНГ (рис. 4), построенное с применением аддитивной технологии. Его общая площадь 298,5 кв.м. Проект осуществила группа компаний «АМТ-СПЕЦАВИА». Начало строительству положено в 2015 г.; коробка здания отпечатана по частям и смонтирована на фундаменте за один месяц в декабре 2015 г. Летом 2017 г. завершено устройство крыши и проведен основной объем внутренних отделочных работ. На сегодня дом подключен ко всем инженерным коммуникациям и в нём проживает семья основателя и руководителя предприятия станкостроительной компании «СПЕЦАВИА» [9].

Компания Aris Cor из г.Иркутска напечатала дом (рис.5) площадью 38 кв. м. в Подмоскowie, используя 3D-принтер собственной разработки [10]. Впервые в российской строительной практике дом был отпечатан целиком, а не собран из отпечатанных панелей.

Печать производилась пескобетоном М300–М500. Во время печати использовалось горизонтальное армирование стен стеклопластиковой арматурой, внутренняя полость стен в одной части дома заполнялась насыпным утеплителем, а в другой заливался полиуретановым составом.

Напечатать несущие стены и перегородки заняло менее 24 часов. Данный проект дома на 38 квадратных метров, по себестоимости



Рис. 4. Общий вид самого большого напечатанного здания в Европе и СНГ



Рис. 5. Процесс печатания дома площадью 38 кв. м

сти за квадратный метр получился в районе 220 долларов.

Замысловатый дизайн дома, спроектирован с определённой целью – продемонстрировать возможности оборудования и вариативность возможных архитектурных форм, при настоящем этапе развития аддитивных технологий. Примечателен тот факт, что дом возводился в холодный период года. Зима добавила сложности для участников проекта, поскольку применение бетонной смеси, используемой в качестве «чернил», возможно только при температуре от 5°C выше нуля, хотя само оборудование способно работать при температуре до минус 35°C. Задачу решили с помощью установки крытого тента, где поддерживался необходимый температурный режим [11, 17].

Также отечественная компания Aris Cor по заказу властей Дубая напечатала на 3D-принтере уникальный дом площадью более 600 кв.м. Проект попал в Книгу рекордов Гиннеса и принес предпринимателю \$1 млн выручки и интерес клиентов из США. Дубайский проект Aris Cor длился около года. За это вре-

мя основатель компании с командой из четырех человек успел напечатать и разрушить тестовые миниатюры углов здания и придумать уникальные бетонные «чернила», устойчивые к землетрясениям и высокой влажности. Печать итогового здания заняла 500 часов машинного времени (рис.6) [12].

На данном этапе развития технологии аддитивного производства можно говорить о её характерных преимуществах, в сравнении с традиционными строительными технологиями возведения зданий и сооружений:

- безотходное производство несущих и ограждающих конструкций;
- максимальная автоматизация строительного процесса с минимальным участием человека;
- в будущем, массовое строительство по такой технологии, поможет решить проблему недостатка жилого фонда, реализуемого по низким ценам;
- позволит быстро восстанавливать города после стихийных бедствий;
- внедрение нестандартных форм в здании не сделает строительство дороже, по



Рис. 6. Общий вид напечатанного дома площадью более 600 кв.м., ОАЭ, Дубай

сравнению с традиционными материалами и методами строительства;

– индивидуальный жилой дом может быть построен, без учёта отделочных работ, всего за 24 часа. Он может быть изготовлен, как на предполагаемом месте строительства, так и быть собран из привозных отпечатанных деталей, которые изготовлены в производственных цехах [14, 18-20].

Приведённые примеры реализованных проектов показывают, как благодаря аддитивным технологиям могут воплощаться в материале разнообразные фантазии архитектурной мысли. Аддитивная технология с развитием новых материалов и методов использования самих систем, данного типа производства не будет иметь ограничений по внешнему и внутреннему облику возводимого здания, поэтому уже сейчас, можно говорить о новом, безграничном потенциале архитектурных решений.

Благодаря науке можно задавать материалам требуемые свойства, изменять их внутреннюю структуру под определённые конструктивные нагрузки, климат и энергоэффективность [13]. Проектирование в будущем может начинаться с анализа свойств материала, а после переходить на создание структурированной, многофункциональной формы. Предположительно такие архитектурные сооружения будут принимать основу природных формообразований, и такой достаточно экзотичный архитектурный стиль,

как бионика станет преобладающим. А возможно, эта технология даст развитие совершенно новых направлений или даже оригинальных стилей в архитектуре.

В концептуальном смысле, есть предпосылки того, что именно эта технология будет внедряться во внеземном строительстве на Луне или Марсе [15], где будет использоваться в качестве строительного материала местный грунт.

Заключение

У аддитивных технологий большое будущее, они открывают новые горизонты в проектировании. Можно выделить три метода создания зданий по этой технологии:

- метод цельного возведения от фундамента до кровли;
- метод сборного возведения из отдельно отпечатанных элементов;
- метод комбинированного возведения, при этом подходе применяются как технологии аддитивного производства, так и традиционные строительные технологии: монолитного, блочного или каркасного строительства.

Возведение зданий и сооружений различного масштаба, по технологии аддитивного производства, станет широко распространённым и привычным явлением. Это даёт уверенность в том, что будущее архитектурное проектирование будет неотъемлемым образом связано с данной технологией.

Литература

1. Аддитивные технологии и аддитивное производство / Аддитивные технологии / Современные технологии производства extxe.com – 2018. – URL: <https://extxe.com/5864/additivnye-tehnologii-i-additivnoe-proizvodstvo/> (дата обращения: 25.10.2022).
2. Малышева В. Л., Красимилова С. С. Лазерная стереолитография – новый подход к строительству сооружений // Журнал магистров ПНИПУ. 2013. № 2. С. 202-208.

3. История 3D – печати / ORGPRINT / Энциклопедия 3D-печать – 2012. – URL: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/istorija-3d-pechati> (дата обращения: 27.10.2022).
4. Scott S. Crump – Patent US5121329 A – «Apparatus and method for creating three-dimensional objects». 30 October, 1989.
5. Краткая история появления 3D-печати / Александр Корнвейц / Habr – 2021. – URL: <https://habr.com/ru/post/553958/> (дата обращения: 27.10.2022).
6. Лохмутов, Н. Д. Перспектива развития 3D-печати в строительстве / Н. Д. Лохмутов, Д. В. Куличков, В. В. Ермолаева. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2018. – № 23 (209). – С. 177-179. – URL: <https://moluch.ru/archive/209/51318/> (дата обращения: 25.10.2022).
7. Дом, напечатанный на 3D-принтере / Екатерина Карпухина / AD Архитектура – 2018. – URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/dom-napechatannyj-na-3d-printere> (дата обращения: 25.10.2022).
8. Первый офис в мире, напечатанный на 3D-принтере/ ARCHITIME.RU// П. Кузнецов / – 2021. – URL: https://www.architime.ru/news/gensler/dubai_future_foundation.htm (дата обращения: 20.10.2022).
9. Маслов, А. В. В Ярославле планируют создать Российский центр аддитивных технологий в строительстве / Маслов, А. В. / АМТ-СПЕЦАВИА – 2018. – URL: <https://specavia.pro/articls/v-yaroslavle-planiruyut-sozdat-rossijskij-czentr-additivnyx-tehnologij-v-stroitelstve/> (дата обращения: 15.10.2022).
10. Камоничкина, Н. В., Кочешков, И. В. Исследование прочностных характеристик модельного материала, получаемого методом fdm-печати // Аддитивные технологии № 3-2018. – URL: <https://additiv-tech.ru>. (дата обращения: 22.10.2022).
11. Максимов, Н. Н. Аддитивные технологии в строительстве, оборудование и материалы // Аддитивные технологии № 4-2018. – URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-oborudovanie-i-materialy.html> (дата обращения: 17.10.2022).
12. Журнал «Forbes» / Как россияне напечатали двухэтажный дом в Дубае на 3D-принтере и вошли в Книгу рекордов Гиннесса / Ксения Демидкина [forbes.ru](https://www.forbes.ru/karera-i-svoy-biznes-photogallery/386887-kak-rossiyane-napechatali-dvuhetazhnyy-dom-v-dubae-na-3d) – 2019. – URL: <https://www.forbes.ru/karera-i-svoy-biznes-photogallery/386887-kak-rossiyane-napechatali-dvuhetazhnyy-dom-v-dubae-na-3d> (дата обращения: 25.10.2022).
13. Торшин А. О., Потапова Е. Н. Перспективы использования 3D-принтера в строительстве // Успехи химии и химической технологии. ТОМ XXX. 2016. № 7. С. 118.
14. Измайлова А. Армия США тестирует бетонную казарму, созданную при помощи 3D-печати / Алина Измайлова / Архи.ру – 2018 – URL: <https://archi.ru/news/80589/armiya-ssha-testiruet-betonnyu-kazarmu-sozdannu-yu-pri-pomoschi-3d-pechati> (дата обращения: 15.10.2022).
15. Coldewey, D. NASA's 3D-printed Mars Habitat competition doles out prizes to concept habs – URL: <https://techcrunch.com/2018/07/27/nasas-3d-printed-mars-habitat-competition-doles-out-prizes-to-concept-habs/> (дата обращения: 15.10.2022).
16. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении: Учебн. пособие. СПб.: СПбГУ, 2013. – 221 С.
17. Белов А. О., Гилязидинов Н. В. Технология возведения малоэтажных зданий с помощью 3D-принтера: сб. ст. VII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием / КузГТУ ИМ. Т.Ф. Горбачева. г. Кемерово, 2015. – С. 703
18. Смирнов, В.В., Барзали, В.В., Ладнов, П.В. Перспективы развития аддитивного производства в российской промышленности / В.В. Смирнов, В.В. Барзали, П.В. Ладнов // Опыт ФГБОУ УГАТУ. Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – № 2 (14). – С. 23-27.
19. Григорьев, С.Н., Смуров, И.Ю. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом / С.Н. Григорьев, И.Ю. Смуров // Инновации. – 2013. – Т. 10. – С. 2-8.
20. Аббасов, А.Э. Перспективы развития аддитивных технологий / А.Э. Аббасов // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2015. – № 5-1. – С. 21-26.
21. ГОСТ Р 57558-2-017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Термины и определения.

References

1. Additive technologies and additive manufacturing / Additive technologies / Modern production technologies extxe.com – 2018. – URL: <https://extxe.com/5864/additivnye-tehnologii-i-additivnoe-proizvodstvo/> (date of access: 25.10.2022).
2. Malysheva V. L., Krasimirova S. S. Laser stereolithography - a new approach to the construction of structures // Journal of masters of PNRPU. 2013. No. 2. S. 202 – 208.
3. History of 3D Printing / ORGPRINT / Encyclopedia of 3D Printing – 2012. – URL: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-reshat/istorija-3d-reshati> (date of access: 27.10.2022).
4. Scott S. Crump – Patent US5121329 A – “Apparatus and method for creating three-dimensional objects”. 30 October, 1989.
5. Brief history of 3D printing / Alexander Kornweitz / Habr – 2021. – URL: <https://habr.com/ru/post/553958/> (date of access: 27.10.2022).
6. Lokhmutov, N. D. Prospects for the development of 3D printing in construction / N. D. Lokhmutov, D. V. Kulichkov, V. V. Ermolaeva. – Text: direct // Young scientist. – 2018. – No. 23 (209). – S. 177–179 – URL: <https://moluch.ru/archive/209/51318/> (date of access: 25.10.2022).
7. House printed on a 3D printer / Ekaterina Karpukhina / AD Architecture – 2018. – URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/dom-napechatannyj-na-3d-printere> (date of access: 25.10.2022).
8. The first office in the world printed on a 3D printer / ARCHITIME.RU // P. Kuznetsov / – 2021. – URL: https://www.architime.ru/news/gensler/dubai_future_foundation.htm (date of access: 20.10.2022).
9. Maslov, A. V. It is planned to create a Russian Center for Additive Technologies in Construction in Yaroslavl / Maslov, A. V. / AMT-SPECAVIA – 2018. – URL: <https://specavia.pro/articls/v-yaroslavle-planiruyut-sozdat-rossijskij-czentr-additivnyx-texnologij-v-stroitelstve/> (date of access: 25.10.2022).
10. Kamonichkina, N. V., Kocheshkov, I. V. Study of the strength characteristics of a model material obtained by fdm-printing // Additive Technologies No. 3 – 2018. – URL: <https://additiv-tech.ru>. (date of access: 22.10.2022).
11. Maksimov, N. N. Additive technologies in construction, equipment and materials // Additive technologies No. 4 – 2018. – URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-oborudovanie-i-materialy.html> (date of access: 25.10.2022).
12. Forbes magazine / How the Russians printed a two-story house in Dubai on a 3D printer and entered the Guinness Book of Records / Ksenia Demidkina / forbes.ru – 2019. – URL: <https://www.forbes.ru/karera-i-svoy-biznes-photogallery/386887-kak-rossiyane-napechatali-dvuhetazhnyy-dom-v-dubae-na-3d> (date accessed: 25.10.2022).
13. Torshin A. O., Potapova E. N. Prospects for the use of a 3D printer in construction // Advances in Chemistry and Chemical Technology. VOLUME XXX. 2016. No. 7. P. 118.
14. Izmailova A. The US Army is testing a concrete barracks created using 3D printing / Alina Izmailova / Archi.ru – 2018 – URL: <https://archi.ru/news/80589/armiya-sshastiruet-betonnuyu-kazarmusozdannu-yu-pri-pomoschi-3d-pechati> (date of access: 25.10.2022).
15. Coldewey, D. NASA’s 3D-printed Mars Habitat competition doles out prizes to concept habs – URL: <https://techcrunch.com/2018/07/27/nasas-3d-printed-mars-habitat-competition-doles-out-prizes-to-concept-habs/> (date of access: 25.10.2022).
16. Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutylyina I.N. Additive technologies in mechanical engineering: Textbook. allowance. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2013. 221 p.
17. Belov A. O., Gilyazidinov N. V. Technology of construction of low-rise buildings using a 3D printer: Sat. Art. VII All-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation / KuzGTU IM. T.F. Gorbachev. Kemerovo, 2015. P. 703
18. Smirnov, V.V., Barzali, V.V., Ladnov, P.V. Prospects for the development of additive manufacturing in the Russian industry / V.V. Smirnov, V.V. Barzali, P.V. Ladnov // Experience FGBOU USATU. News of material-conducting. Science and technology. – 2015. – No. 2 (14). – P. 23-27.
19. Grigoriev, S.N., Smurov, I.Yu. Prospects for the development of innovative additive manufacturing in Russia and abroad / S.N. Grigoriev, I.Yu. Smurov // Innovations. – 2013. – T. 10. – S. 2-8.

20. Abbasov, A.E. Prospects for the development of additive technologies / A.E. Abbasov // Information technologies. Radioelectronics. Telecommunications. – 2015. – No. 5–1. – P. 21-26.
21. GOST R 57558-2-017 Additive technological processes. Basic principles. Terms and Definitions.

Омельяненко В.Л.,

архитектор проектной организации «Стальное Вытупа», магистрант кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: vlad.omelyanenko98@gmail.com

Omelianenko V.L.,

architect of the design organization «Стальное Вытупа», undergraduate of the department «Architecture», South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: vlad.omelyanenko98@gmail.com

Поступила в редакцию 03.11.2022