

УДК 69.05

Мухаметрахимов Р.Х. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Вахитов И.М. – инженер

E-mail: vakhitovim@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера

Аннотация

Постановка задачи. Инновационные технологии внедряются практически в каждую отрасль жизнедеятельности человечества, однако одна из таких крупных отраслей как строительное производство, на сегодняшний день отличается высокими трудозатратами и является наименее автоматизированной. Переход от классических технологий возведения зданий к аддитивным при помощи строительной 3D-печати может стать решением данной проблемы. В настоящий момент времени строительные 3D-принтеры активно внедряются в строительное производство в Китае, США, Нидерландах. На фоне стремительно развивающихся в этой сфере стран, Россия не является аутсайдером и на сегодняшний день имеет в своем числе ряд организаций разрабатывающих и выпускающих свою продукцию 3D-принтеров (ООО «СпецАвиа», г. Ярославль; ООО «АписКор», г. Москва).

Результаты. В статье приводится анализ аддитивной технологии возведения зданий и сооружений. Рассмотрены история развития, способы 3D-печати и виды строительных 3D-принтеров. Дано краткое описание напечатанных ограждающих конструкций и используемых материалов.

Выводы. Значимость для строительной отрасли заключается в анализе достоинств и недостатков аддитивной технологии возведения зданий и сооружений, а также выявление перспектив и направлений ее развития.

Ключевые слова: аддитивные технологии, строительный 3D-принтер, 3D-печать, технологии возведения зданий и сооружений, строительное производство.

Введение

На сегодняшний день, строительство – одна из важнейших отраслей, обеспечивающая как развитие экономики, так и повседневный комфорт населения. Эта отрасль является одним из лидеров по числу рабочих мест, как в стране, так и во всем мире. В то же время современные требования к строительству подразумевают дальнейшее совершенствование технологий строительного производства, ее значительную трансформацию. Изменения в этой сфере происходят медленно, но, тем не менее, и в типовом, и в индивидуальном строительстве постепенно начинают применяться новые материалы, обеспечивающие повышенный комфорт, экологичность и экономичность при эксплуатации, внедряются новые технологии, позволяющие существенно автоматизировать процесс воплощения проектов в реальность, которые значительно сокращают количество необходимой рабочей силы, а также минимизировать риск производственных травм. Одной из таких перспективных технологий является применение аддитивной технологии возведения зданий при помощи строительной 3D-печати на строительных площадках [1].

3D-печать архитектурных сооружений вызывает большой интерес специалистов уже несколько лет. Следует отметить, что в настоящее время одной из немногих полностью не автоматизированных отраслей производства является строительство. С применением строительного 3D-принтера появилась возможность не только создания небольших конструкций (строительных блоков, малых элементов ландшафтного дизайна и интерьера помещений), но и возведения ограждающих конструкций зданий. Эта технология позволяет возводить более сложные объекты с пониженными временными, материальными и трудозатратами.

В настоящее время концепция строительства при помощи 3D-принтеров уже заинтересовала несколько крупных строительных компаний, порядка 35 организаций занимаются разработкой прототипов данного оборудования. Игроки на этом рынке преследуют разные задачи – вторичную переработку строительных отходов; создание технологий «безфундаментной» печати; строительство домов в местностях, пострадавших от стихийных бедствий и требующих возведение большой площади жилья за короткий период времени; производство и совершенствование оборудования и т.д. [2].

Не смотря на существующие примеры выполненных малых архитектурных форм, объектов индивидуального жилищного строительства по данной технологии, как в России, так и за рубежом, требуется ее исследование и развитие, что в перспективе расширит область ее применения, повысит качество получаемой строительной продукции и вызовет необходимость в разработке нормативных документов регламентирующих данное направление.

История развития 3D-печати

Работа человечества в сфере цифровых технологий, на протяжении многих лет, привела к идеи 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, мы изначально имеем заготовку, от которой, например, отсекаем все лишнее, либо деформируем ее, то в случае с аддитивной технологией из аморфного расходного материала выстраивается новое изделие [3].

3D-печать ведёт свою историю с 1948 года, когда американец Чарльз Халл разработал технологию послойного выращивания физических трёхмерных объектов из фотополимеризующейся композиции (ФПК). Технология получила название «стереолитографии» (STL). Патент [4] 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. Так как термин «3D-принтер» ещё не был введён в оборот, аппарат Чарльза Хала получил название «установка для стереолитографии». Устройство выращивало смоделированный на компьютере трёхмерный объект из жидкой фотополимеризующейся композиции, нанося её слой за слоем на подвижную платформу, погружаемую в ванну с ФПК. Толщина каждого слоя составляла примерно 0,1-0,2 мм [5].

В 1988 году Скотт Крамп (США) запатентовал технологию трехмерной печати с помощью послойной заливки расплавленной нити полимера (FDM) [6]. В печатающей головке материал (расплав из пластика) предварительно разогревается до температуры плавления и поступает в рабочую камеру. Головка выпускает расплавленный материал в виде нити, которая укладывается на рабочую поверхность. После этого платформа опускается ниже на толщину одного слоя, для повторного воспроизведения процесса. Первое коммерческое устройство на основе технологии FDM появилось в 1991 году под торговой маркой Stratasys [7].

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) [8].

Способы 3D-печати в строительстве

На данный момент для создания объектов промышленности, машиностроения, пищевого производства и других отраслей, существует множество способов 3D-печати: лазерная стереолитография, селективное лазерное спекание, моделирование методом наплавления, ламинирование, склеивание порошков.

Для создания малых форм и целых объектов строительства используются три основных метода: спекание; лазерная стереолитография; послойное экструдирование.

Суть *способа спекания (селективное спекание)* заключается в том, что рабочие чернила, к примеру, кварцевый песок, расплавляются за счет действия точечного лазерного луча, направление траектории которого приводится в действие с помощью кулачкового механизма. 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. Производством такого вида оборудования занимается его изобретатель, инженер Маркус Кайзер [9].

Для реализации *способа напыления (лазерная стереолитография)* используют лазерную установку с ванной, оборудованной специальным столом. Эту ванну заполняют жидкой фотополимеризующей 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 способом компонентной склейки, под названием Stone Spray Robot, а также система D-Shape, разработанная Энрико Дини для строительства зданий (Monolite UK) [10].

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

Способ послойного экструдирования на сегодня является основным способом 3D-печати большинства строительных принтеров. Суть заключается в том, что рабочее сопло, или экструдер, 3D-машина выдавливает быстротвердеющую бетонную смесь, в которую включены различные добавки, улучшающие характеристики будущей конструкции [11]. Каждый очередной слой выдавливается 3D-принтером поверх предыдущего, благодаря чему формируется определенная конструкция [12] (рис. 1). Впервые о подобной технологии в строительстве было упомянуто в работах профессора Бехроха Хошнеvisa из Южно-Калифорнийского университета в августе 2012 г. [13, 14]. Его научная группа выдвинула идею конструкции гигантского, собираемого на строительной площадке 3D-принтера по типу козлового крана [15].

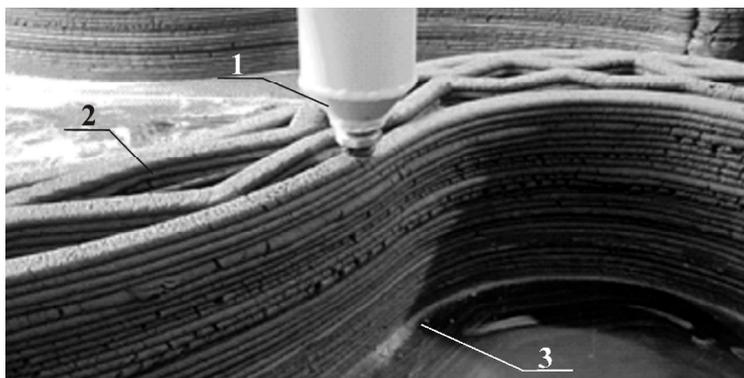


Рис. 1. Изготовление ограждающих конструкций способом послойного экструдирования при помощи 3D-принтера:
1 – сопло (экструдер); 2 – изготавливаемая ограждающая конструкция; 3 – основание

Выполненный обзор методов 3D-печати показывает, что на сегодняшний день в области строительного производства одним из наиболее эффективных является способ послойного экструдирования.

Виды строительных 3D-принтеров, работающих способом послойного экструдирования

Строительные принтеры, принципиально не отличаются от производственных 3D-принтеров и представляют собой их конструктивные аналоги, но больших размеров.

Существуют различные компоновки приводов данного устройства – порталные, с дельта-приводом, работающие в угловых координатах, на базе промышленных манипуляторов.

3D-принтеры с *портальной компоновкой привода* – это машины, напоминающие по виду козловые краны, движущиеся по рельсам, с длинной рамой, расположенной над рабочей зоной (рис. 2). По раме движется сопло или экструдер – устройство для подачи строительных чернил. За счет синхронизации движения рамы по рельсам, печатающей головки по ширине и высоте, подаче строительного материала, экструдер послойно выдавливает смесь, повторяя цифровой шаблон, заложенный в программном комплексе операционистом. Таким образом, осуществляется движение в трех взаимно-перпендикулярных направлениях – по осям x , y , z . Преимуществом порталного привода является простота, надежность и относительно невысокая стоимость установки. В качестве недостатков можно отметить повышенные объемы работ, связанные с установкой оборудования в проектное положение, а также большие габариты устройства данного типа [15].

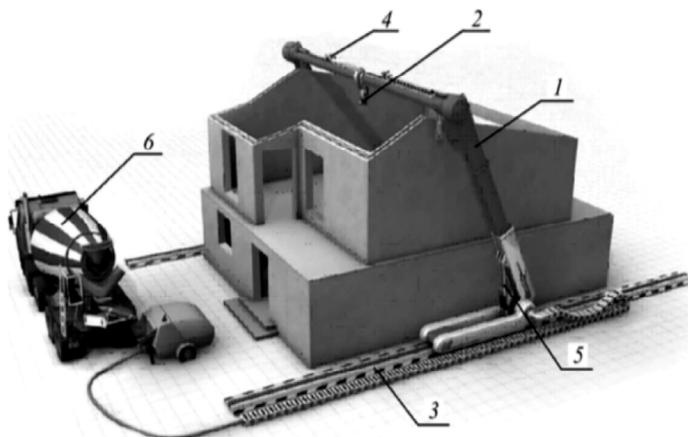


Рис. 2. Система для печати зданий с помощью принтера с порталной компоновкой привода:
 1 – рама; 2 – печатающий оголовок (экструдер); 3 – рельсы, направляющие вдоль здания;
 4 – механизм передвижения экструдера поперек рабочей поверхности;
 5 – устройство для поднятия конструкции принтера по оси z ;
 6 – автобетоносмеситель для подачи строительных чернил

3D-принтеры с *дельта-приводом* (трех осевые) представляют собой перевернутую треногу, состоящую из трех тросов или штанг, на которых держится печатающая головка, и высокой рамы, на которой закреплены машины управляющие подачей тросов или штанг [16] (рис. 3). Печатающая головка движется за счет синхронного изменения длины тросов, повторяющих заложенный в программном комплексе шаблон. Недостатком устройства является ограниченное пространство рабочей зоны, а также трудоемкий процесс сборки каркаса данной установки.

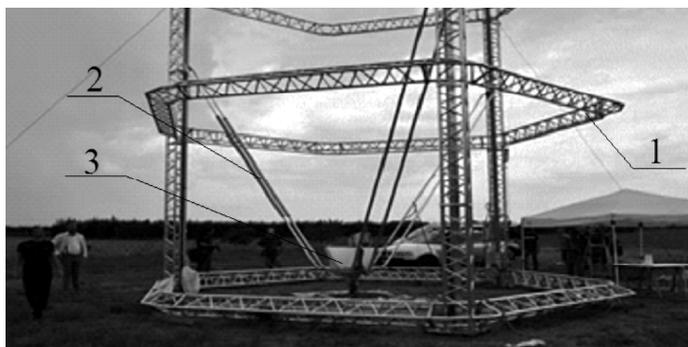


Рис. 3. Строительный 3D-принтер с дельтовидным приводом:
 1 – каркас установки; 2 – тросы; 3 – печатающий оголовок

Строительные 3D-принтеры *работающие в угловых координатах* (в виде башенного крана) представляют собой автоматизированное устройство для строительства зданий и сооружений методом трехмерной печати [17] (рис. 4). Вес установки составляет всего 2 т, исходя из этого ее легко разместить с помощью автокрана как внутри здания, так и снаружи, в зависимости от проекта воздвигаемой постройки. Принтер имеет небольшие габариты, поэтому легко транспортируется и не требует долгой подготовки до начала работ. Недостатком устройства является ограниченная зона действия, в следствие чего в процессе возведения сооружения необходимо прибегать к помощи вспомогательной техники для перемещения принтера по рабочей зоне. Другим недостатком принтера Aris Cor является его стоимость, которая значительно превышает цену порталного устройства. Производством данного продукта занимается одноименная российская компания ООО «АПИС-КОР», которая на сегодняшний момент привлекла интерес к своему проекту от крупных инвесторов и в перспективе планирует распространять свое изобретение как в России, так и в странах Европы [18].



Рис. 4. Мобильный строительный 3D-принтер ArisCor, работающий в угловых координатах:
1 – стрела установки; 2 – экструдер; 3 – изготавливаемая ограждающая конструкция

Принтер *на базе промышленного манипулятора* представляет собой конструктивные аналоги механических рук – манипуляторов, состоящих из нескольких гибких сочленений, придающих им большую подвижность [16] (рис. 5). Преимуществом так же являются небольшие габариты и вес установки. Недостатком является сложность и высокая технологичность принтеров, следовательно, и их дороговизна.

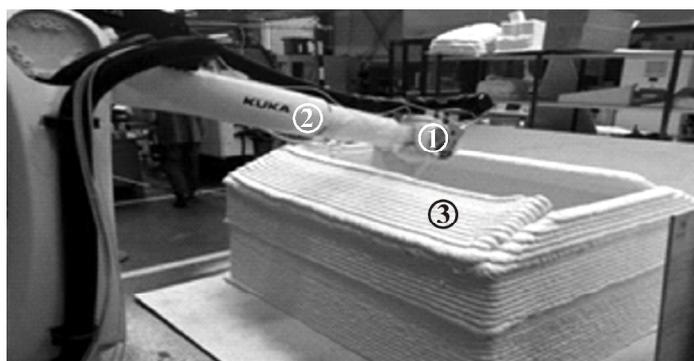


Рис. 5. Строительный 3D-принтер на базе промышленного манипулятора:
1 – печатающий оголовок; 2 – механическая рука; 3 – изготавливаемая ограждающая конструкция

Выполненный обзор видов строительных 3D-принтеров работающих методом послойного экструдирования свидетельствует, что на сегодняшний день наиболее подходящим по своим характеристикам для возведения малоэтажных зданий является принтер с порталным приводом. В перспективе реализации проектов, с количеством этажей более двух, наиболее подходящим выглядит принтер Aris Cor, работающий в угловых координатах.

Конструкции стен, возведенных методом послойного экструдирования

Как и любая другая стена возведенная традиционным способом, ограждающая конструкция, напечатанная с помощью 3D-принтера, должна иметь хорошие прочностные и теплоизоляционные качества. Главным преимуществом зданий и сооружений, возведенных методом послойного экструдирования, являются сложные геометрические формы стен.

Конструктив стен в плане чаще всего напоминает пространственную ферму, состоящую из напечатанных внутреннего (несущего), наружного слоев, далее между ними возводится внутренняя часть конструкции в виде треугольников, выполняющая роль ребер жесткости (рис. 6). Для армирования в состав «строительных чернил» можно вводить дисперсную арматуру (фибры), либо укладывать арматурные стержни или кладочную сетку между слоями. Вопрос вертикального армирования решается установкой стержневой арматуры в пустоты, с их дальнейшим заполнением материалом, с низким коэффициентом теплопроводности. Кроме того пустоты стен можно использовать для прокладки различных коммуникаций, либо проектировать форму стен таким образом, что бы на выходе иметь каналы или полости во внутреннем слое для дальнейшего их заполнения элементами водопровода, канализации, электричества и др.

Значительно сократив сроки и затраты труда при возведении стен, 3D-принтер способен изготовить качественную ограждающую конструкцию с высокими прочностными и теплоизоляционными качествами [19].

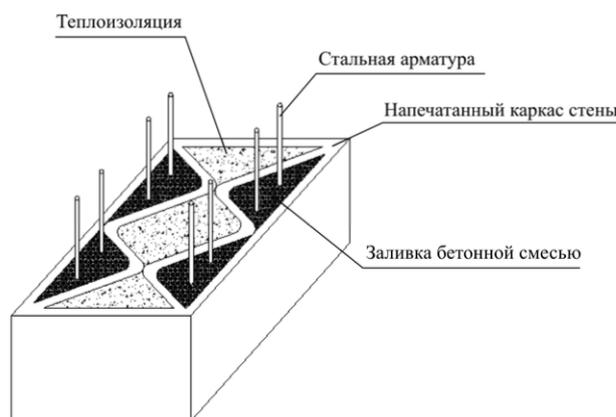


Рис. 6. Конструкция стены, выполненная с помощью 3D-принтера

Требования к материалам, используемым в качестве «чернил» для строительной 3D-печати методом послойного экструдирования

Немаловажную роль в технологии строительной 3D-печати играет состав строительных «чернил» (сырьевой смеси). Ее основой могут быть такие материалы как портландцемент, гипс, смешанные вяжущие модифицированные активными минеральными и химическими добавками – цементно-волоконистые (фиброцементные), гипсоволоконистые, гипсоцементно-волоконистые и др. [20-26]. Для возможности бездефектной послойной укладки «чернил», сырьевая смесь должна обладать относительно быстрым набором прочности при замедленной кинетике начального структурообразования. Кроме того, сырьевая смесь должна обладать тиксотропными и адгезионными свойствами, быть удобоукладываемой принтером и в то же время не растекаться под воздействием последующих слоев и иметь невысокие усадочные деформации при твердении [27-29]. Известно применение пескобетона марки М300 в качестве «чернил» при изготовлении малых архитектурных форм методом послойного экструдирования [2].

Дисперсное армирование сырьевых смесей «строительных чернил» позволяет повысить физико-механические характеристики затвердевшего композита, снизить величину усадочных деформаций, повысить трещиностойкость и др. Ведение активных минеральных и химических добавок позволяет регулировать реологические свойства смесей используемых в качестве «строительных чернил», эксплуатационные характеристики готовых изделий.

Следует отметить актуальность исследований направленных на разработку составов строительных «чернил» для 3D-принтеров обеспечивающих высокие технологические, эксплуатационные свойства и долговечность.

Выводы

По результатам анализа отечественного и зарубежного опыта аддитивной технологии возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера следует отметить основной недостаток – возможность возведения только вертикальных конструкций в ограниченной рабочей зоне. Кроме того, установка строительного 3D-принтера в рабочее положение и его калибровка требует определенных затрат на подготовительный период.

Несомненными преимуществами аддитивной технологии является снижение трудоемкости работ, риска производственного травматизма, повышение автоматизации и скорости строительства, снижение отходов производства.

Отсутствие нормативной базы для проектирования и строительства зданий с помощью данной технологии не является на данный момент существенным препятствием на пути реализации сложных проектов в связи с необходимостью повышения качества получаемой строительной продукции по данной технологии и расширением ее возможностей.

Успешное развитие аддитивной технологии возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера требует комплексных исследований направленных на разработку эффективных «строительных чернил» на различной основе, изучение их структуры и свойств.

Список библиографических ссылок

1. Атлас новых профессий. URL: <http://atlas100.ru/catalog/stroitelstvo/> (дата обращения: 15.10.2017).
2. Доклад генерального директора ООО «СПЕЦАВИА» (Ярославль) Маслова А. В. на Дне открытых дверей Центра трансфера технологий в капитальном строительстве объектов использования атомной энергии Госкорпорации «Росатом» от 04.10.2017 г. в Технопарке «Сколково» (Москва).
3. Аддитивные технологии и аддитивное производство. URL: http://3d.globatek.ru/world3d/additive_tech/ (дата обращения: 10.10.2017).
4. Charles W. Hull – Patent US4575330 A. «Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography» 11 March, 1986.
5. История 3D-печати. URL: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/istorija-3d-pechat/> (дата обращения: 15.10.2017).
6. Scott S. Crump – Patent US5121329 A – «Apparatus and method for creating three-dimensional objects». 30 October, 1989.
7. История 3D-принтеров. URL: http://kanzoboz.ru/article/istoriya_3D_printerov/ (дата обращения: 16.10.2017).
8. Shanghai WinSun. URL: <http://www.chinawinsun.com/en/> (дата обращения: 20.10.2017).
9. Обзорная статья по 3D-строительным технологиям // URL: <http://geektimes.ru/post/224299> (дата обращения: 21.10.2017).
10. Малышева В. Л., Красимилова С. С. Лазерная стереолитография – новый подход к строительству сооружений // Журнал магистров ПНИПУ. 2013. № 2. С. 202–208.
11. Энциклопедия 3D-печати. Аддитивные технологии. URL: http://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technolog (дата обращения: 16.10.2017).
12. Компания Winsun. 3D-проектирование домов. URL: <http://www.yhbm.com/index.php?a=lists&c=index&catid=67&m=content> (дата обращения: 20.10.2017).
13. Contour Crafting technology. URL: <http://contourcrafting.com> (дата обращения: 21.10.2017).
14. Contour Crafting a potential revolution in the construction industry // International Journal of Research in Advent Technology (E-ISSN: 2321-9637) Special Issue National Conference «VishwaCon'16». 2016. P. 22–26.
15. Портальные 3D-принтеры. URL: <http://specavia.pro/articls/Stroitelnaja-3D-pechat->

- [Maloformatnoe-oborudovanie-Prakticheskie-rekomendacii/](#) (дата обращения: 22.10.2017).
16. Обзор известных проектов 3D-принтеров. URL: <http://spaceexpansion.ucoz.ru/index/0-24> (дата обращения: 15.10.2017).
 17. Журнал Apis Cor technology description – We print buildings. URL: <http://apis-cor.com/3d-printer> (дата обращения: 10.10.2017).
 18. Мобильный строительный 3D-принтер Apis Cor. URL: <http://apis-cor.com/3d-printer> (дата обращения: 19.10.2017).
 19. 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.
 20. Торшин А. О., Потапова Е. Н. Перспективы использования 3D-принтера в строительстве // Успехи химии и химической технологии. ТОМ XXX. 2016. № 7. С. 118.
 21. Изотов В. С., Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Влияние полипропиленовых волокон на основные свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 1. С. 135–137.
 22. Изотов В. С., Мухаметрахимов Р. Х., Сабитов Л. С Цементно-волоконный композиционный материал для фиброцементных плит // Строительные материалы. 2011. № 5. С. 20–21.
 23. Мухаметрахимов Р. Х., Изотов В. С. Повышение физико-механических свойств и долговечности фиброцементных плит на основе целлюлозных волокон // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 9 (645). С. 101–107.
 24. Мухаметрахимов Р. Х., Изотов В. С., Гревцев В. А. Фиброцементные плиты на основе модифицированного смешанного вяжущего // Известия КГАСУ 2010. № 2 (14). С. 250–254.
 25. Мухаметрахимов Р. Х., Изотов В. С. Влияние активных минеральных добавок на гидратацию вяжущего и физико-механические свойства фиброцементных плит // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 213–217.
 26. Халиуллин М. И., Алтыкис М. Г., Рахимов Р. З. Эффективные сухие гипсовые смеси с добавками полимерных волокон // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 3. С. 33–37.
 27. Удодов С. А., Белов Ф. А., Золотухина А. Е. 3D-печать в строительстве: новое направление в технологии бетона и сухих строительных смесей : сб. ст. VI Международной научно-практической конференции МЦНС – Наука и просвещение». Пенза, 2017. С. 58–62.
 28. 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. P. 1221–1232.
 29. 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.

Mukhametrakhimov R.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Vakhitov I.M. – engineer

E-mail: vakhitovim@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Additive technology of erection of buildings and structures using building 3D-printer

Abstract

Problem statement. Innovative technologies are being introduced almost in every sector of human activity, however, one such major industries as construction and manufacturing, today

is characterized by high labor costs and is the least automated. The transition from classical technologies of erection of buildings to additive construction using 3D-printing may be the solution to this problem. In real time construction 3D-printers are being actively implemented in the construction manufacture in China, USA and the Netherlands. Against the background of rapidly developing in this area countries, Russia is not an outsider and today it has in its number a number of organizations are developing and producing their products 3D-printers («Spetsavia», Yaroslavl, «ApisCor», Moscow).

Results. In this article the analysis of additive technology erection of buildings and structures, as the problem of low automation of construction industry. The history of development, methods of 3D-printing and building 3D-printers. This brief description of the design and materials used when printing envelopes.

Conclusions. The main results of the study are to analyze the shortcomings and advantages of additive technology of construction of buildings and structures, and identifying its prospects. The significance of the results for the construction industry is to increase the automated processes on the construction site, reducing human labor and reducing accidents.

Keywords: additive technologies, building a 3D-printer, 3D-printing, technology of erection of buildings and structures, construction and production.

References

1. The Atlas of new professions. URL: <http://atlas100.ru/catalog/stroitelstvo/> (reference date: 15.10.2017).
2. Report of the General Director of «SPETSAVIA» (Yaroslavl) Maslov A. V. at the open Day of the Centre for technology transfer in capital construction objects of use of atomic energy «Rosatom» from 04.10.2017 in Technopark «SKOLKOVO» (Moscow).
3. Additive technology and additive manufacturing. URL: http://3d.globatek.ru/world3d/additive_tech/ (reference date: 10.10.2017).
4. The Charles W. US4575330 a Paten – Apparatus for production of threedimensional objects by stereolithography, March 11, 1986.
5. The story of 3D-printing. URL: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/istorija-3d-pechati> (reference date: 15.10.2017).
6. Scott S. Crump. patent US5121329 a – apparatus and method for creating three-dimensional objects, October 30, 1989.
7. The story of 3D-printers. URL: http://kanzoboz.ru/article/istoriya_3D_printerov/ (reference date: 16.10.2017).
8. Shanghai winsun. URL: <http://www.chinawinsun.com/en/> (reference date: 20.10.2017).
9. Review of the 3D construction technologies. URL: <http://geektimes.ru/post/224299> (reference date: 21.10.2017).
10. Malysheva V. L., Krasimirova S. S. Laser stereolithography – a new approach to the construction of buildings // Zhurnal magistriv PNIPU. 2013. № 2. P. 202–208.
11. Encyclopedia 3D-printing. Additive technologies. URL: http://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technolog (reference date: 16.10.2017).
12. The Company Winsun. 3D-design of houses. URL: <http://www.yhbm.com/index.php?a=lists&c=index&catid=67&m=content> (reference date: 20.10.2017).
13. Contour Crafting technologies. URL: <http://contourcrafting.com> (reference date: 21.10.2017).
14. Contour craft a Potential revolution in the construction industry // international research journal of advent Technology (E-ISSN: 2321-9637) Special issue national conference «VishwaCon'16». 2016. P. 22–26.
15. Gantry 3D-printers. URL: <http://specavia.pro/articls/Stroitel'naja-3D-pechat-Maloformatnoe-oborudovanie-Prakticheskie-rekomendacii/> (reference date: 22.10.2017).
16. The review of known projects 3D-printers. URL: <http://spaceexpansion.ucoz.ru/index/0-24> (reference date: 15.10.2017).
17. Description of the technology Apis Cor – We print the building. URL: <http://apis-cor.com/3d-printer> (reference date: 10.10.2017).

18. Mobile construction 3D-printer KOR APIs. URL: <http://apis-cor.com/3d-printer> (reference date: 19.10.2017).
19. Belov A. O., Gilyazetdinov N. In. The technology of erection of low-rise buildings using 3D printer: collection of articles VII all-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation / KuzGTU THEM. T. F. Gorbachev Kemerovo, 2015. P. 703.
20. Torshin A. O., Potapova Ye. N. Prospects for using a 3D printer in construction // *Uspekhi khimii i khimicheskoy tekhnologii*. TOM XXX. 2016. № 7. P. 118.
21. Izotov V. S., Mukhametrakhimov R. Kh., Galiautdinov A. R. Influence of polypropylene fibers on the main properties of gypsum cement-pozzolanic binder // *Vestnik KTU*. 2015. V. 18. № 1. P. 135–137.
22. Izotov V. S., Mukhametrakhimov R. Kh., Sabitov L. S. Cement-fiber composite material for fiber-cement slabs // *Stroitelnye materialy*. 2011. № 5. P. 20–21.
23. Mukhametrakhimov R. Kh., Izotov V. S. Increase of physical and mechanical properties and durability of fiber-cement slabs on the basis of cellulose fibers // *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo*. 2012. № 9 (645). P. 101–107.
24. Mukhametrakhimov R. Kh., Izotov V. S., Grevcev V. A. Fiber cement slabs based on modified mixed binder // *Izvestiya KGASU*. 2010. № 2 (14). P. 250–254.
25. Mukhametrakhimov R. Kh., Izotov V. S. Influence of active mineral additives on the hydration of binders and physical and mechanical properties of cement boards // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 213–217.
26. Khaliullin M. I., Altykis M. G., Rakhimov R. Z. Effective dry gypsum mixtures with additives of polymer fibers // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2004. № 3. P. 33–37.
27. Udodov S. A., Belov A. F., Zolotukhin A. E. 3D-printing in construction: a new direction in the technology of concrete and dry mixes : dig. of art. VI International scientific-practical conference – *Nauka i prosveshchenie*. Penza, 2017. P. 58–62.
28. 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. P. 1221–1232.
29. Van Yo., Wu H. K., Lee V. S., concrete reinforcement with recycled fibers // *Journal of materials in civil engineering*. 2000. № 4–12. P. 314–319.