

УДК 538.975

**АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КАЗАХСТАНЕ:
АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ****Дмитриев Т.П., Даулбаев Ч.Б., Алиев Е.Т., Мансуров З.А.**

РГП «Институт проблем горения»

timur_dmitriyev@yahoo.com

Аннотация

Целью настоящей исследовательской работы является разработка и создание 3D принтера, печатающий цветные изделия из пластика, а также разработка и изготовление 3D принтера для постройки домов на основе специального быстросхватывающегося состава бетона. В процессе настоящей работы собран каркас и электронные части первого отечественного 3D принтера для печати цветных пластмассовых изделий; спроектирован и создан специальный многовходной экструдер для данного принтера; создан прототип 3D принтера для печати моделей домов; разработана схема получения специального быстросхватывающегося бетона, состав которого был выведен специалистами института; изучены новые возможности применения коротких наноразмерных волокон, полученных на отечественной установке электроспиннинга (электроформирования), с целью улучшения времени схватывания и дополнительного увеличения прочности бетона. Кроме этого, с помощью языка программирования C++, было дополнено и модифицировано программное обеспечение для 3D принтеров.

Ключевые слова: аддитивное производство, 3D принтер, бетон, программное обеспечение

Введение

3D-печать – это создание объекта методом его послойного выращивания на основе трехмерной CAD-модели (модели, разработанной в системе автоматизированного проектирования). Зачастую также используется термин «аддитивное производство», поскольку при изготовлении детали применяется аддитивный метод — добавление материала слой за слоем. В этом заключается отличие 3D-печати от традиционного метода производства изделий, который является субтрактивным и при котором лишний материал удаляется с заготовки с помощью механической обработки.

Любой 3D-принтер выращивает изделие послойно, а разбивка по слоям и геометрия слоев описывается в STL- файле. Для получения послойного STL- файла обычно применяется конвертор CAD-формата, встроенный в систему автоматизированного проектирования, которую используют инженерно-технические работники предприятия. На данный момент существует множество технологий 3D-печати, установок аддитивного производства и типов используемых материалов. [1]

Наиболее распространенной технологией 3D печати при использовании полимерного исходного материала является FDM

(Fused Deposition Manufacturing) метод, суть которого заключается в послойном наложении расплавленной полимерной нити. Ниже приведен список материалов для FDM систем.

- ABS - ударопрочный материал, относящийся к инженерным пластикам. Обладает высокой прочностью и износостойкостью. Самый популярный и универсальный материал, используемый в 3D печати. Подходит для изготовления функциональных деталей, сувениров, посуды, детских игрушек;

- PLA - биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный материал. Сырьем для производства служат ежегодно возобновляемые ресурсы, такие как кукуруза и сахарный тростник. Используется для производства изделий с коротким сроком службы: пищевая упаковка, одноразовая посуда, пакеты, различная тара;

- Nylon - обладает повышенной прочностью на разрыв и гибкостью. Его отличительными особенностями является: хорошее соединение с поверхностью, высокая водонепроницаемость, хорошее сопротивление разрыву и возможность впрыскивать краску. Модели, напечатанные этим материалом, имеют натурально белый цвет с прозрачной поверхностью. Пластик также легко можно окрасить, как до печати, так и после;

- LAYWOOD -композитный материал на 40% состоящий из натурального дерева и

безопасного связующего полимера. После печати он выглядит как изделие из дерева, пахнет деревом и приятен на ощупь, кроме того изделия из такого материала можно резать, шлифовать и разрисовывать так же, как и любые деревянные объекты.

- PET (полиэтилентерефталат) - бесцветная нить с очень высоким уровнем прозрачности. Материал легкий и ударопрочный. Возможно создание уникальных моделей - прозрачных, как стекло.

- Laybrick - полимер с эффектом песка для 3D печати. [2]

Получение структур методом электроформирования нановолокон на основе биорастворимых полимеров также занимает особую нишу в аддитивных технологиях. Именно такой подход описан в работе специалистов из Института проблем горения. [3]

В результате был изучен процесс получения полимерных пленок методом электроспиннинга, была предложена идея использования 3D-принтера совместно с установкой электроспиннинга, что позволило напечатать простейшие наноразмерные объекты полимерными волокнами. Показано, что наноразмерные 3D-объекты, могут быть получены с помощью электроспиннинга. Полученные наноразмерные 3D-объекты были использованы для получения электродов в суперконденсаторах, что уменьшило их сопротивление.

Изменение электрических линий поля электростатическими или магнитными дефлекторами позволит реализовать быструю 3D-печать сложной формы, которая может быть использована для производства нанофильтров, в наноробототехнике. [4]

Применение принтеров 3D— печати в строительстве в настоящее время ограничено рядом причин. Среди них масса технических проблем, но основная - отсутствие нормативной и законодательной базы для такого рода строительства.

Именно отсутствие нормативов мешают взять на вооружение 3D оборудование крупным строительным компаниям, рассматривающим концепцию строительной печати именно для многоэтажного и массового строительства. Нерешённые проблемы применения строительной 3D печати сводят на нет возможность применения её в поточной застройке.

Однако вполне реальным на этом фоне выглядит возможность малоэтажного индиви-

дуального строительства, строительства летних домов, гаражей, всевозможных беседок, ландшафтных построек, прудов, детских городков, бассейнов. Понятно, что всё это удел средних и малых предпринимателей, имеющих возможность быстро и гибко работать с потенциальным, но ещё пока, увы, не массовым заказчиком.

Отсутствие на рынке оборудования для строительной 3D печати объясняется прежде всего сравнительно высокой стоимостью его для этого сегмента предпринимателей.

Кроме того, даже небольшой принтер формата 4 x 6 метров, предназначенный для печати элементов зданий, предметов ландшафтного дизайна высотой до 3 метров – уже довольно внушительная конструкция, требующая ещё и достаточно большого помещения. Кроме места для установки самого 3D – принтера требуется предусмотреть участок подготовки бетонной смеси и её подачи в печатающую головку, участок предварительной сушки, складские помещения и участок погрузки. [5]

Однако в 2015 году шанхайская компания WinSun [6] представила пятиэтажный дом, элементы которого были напечатаны на 3D принтере. Еще ранее этой же компанией были продемонстрированы 10 домов, каждый из которых имел площадь в 200 кв.м., были построены методом 3D принтинга. Причем себестоимость каждого из таких домов составляет порядка 5000 долл. США. Стоит отметить, что летом 2016 года компания WinSun получила приглашение от представителей Саудовской Аравии на проект для постройки 1,5 млн жилых домов. [7]

На разработку такой технологии китайская компания WinSun потратила порядка 12 лет и более 3 млн. долларов США.

Разработка и сборка первого отечественного цветного 3D принтера

В ходе работы подготовлен чертеж многовходного экструдера. Изготовлена печатная плата и дополнительные элементы экструдера.

Многовходной экструдер является важнейшей деталью установки цветного 3D принтера. Этот экструдер предназначен для расплавления и перемешивания исходных разноцветных пластмассовых волокон для того, чтобы получить нужный цвет расплавленного и вытекающего пластмассового цветного во-

локна на выходе из экструдера, которая затем используется для создания объемного изделия методом слоевого наложения.

Исторически, для получения палитры цветов используют RGB (red (красный), green (зеленый), blue (синий)) метод, однако получение белого и черного цветов в 3D принтерах данным методом является невозможно. После учета этих факторов и отличия в вязкости полимеров, используемых в 3D принтерах, нами

было решено использовать более модифицированный способ, то есть использовать набор уже 5 цветов полимеров, дополнительно включая полимеры белого и черного цветов. После этого разработали и изготовили чертеж экструдера с пятью входами для пяти разноцветных полимеров. Чертеж многовходного экструдера приводится на рисунке 1.

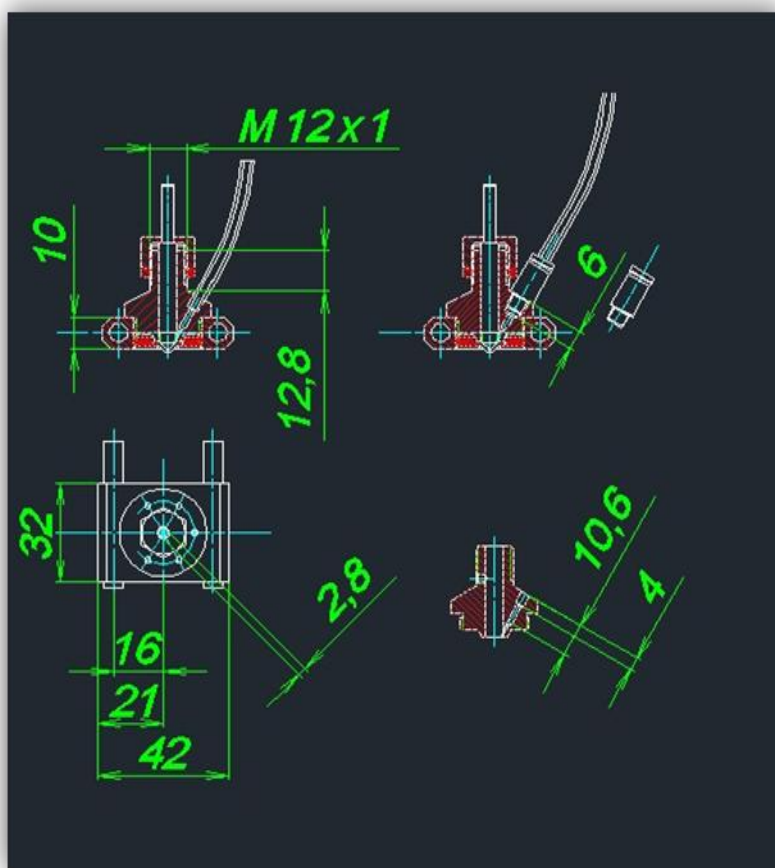


Рис. 1 – Чертеж многовходного экструдера

В новом пятивходном экструдере, для лучшего смешивания этих цветов предусмотрели смешивающее устройство через дополнительный двигатель. На рисунке 2 приведена фотография процесса выхода первых цветных волокон, которые были получены в нашем первом отечественном цветном принтере.

В цветном 3D принтере для обеспечения равномерной подачи исходных полимерных проволок установлена тефлоновая трубка, которая должна выдерживать нужный температурный диапазон – до 270 °С

Ниже на рисунке 3 приведены разработанные и изготовленные вспомогательные ин-

струменты для развальцовки тефлоновых труб (а,б). Развальцовщик тефлоновых труб состоит из двух частей: крепление тефлоновых труб с муфтой и развальцовщик тефлоновых труб. Кроме этого приведены разработанные и изготовленные вспомогательные инструменты для изготовления фильеры многовходового экструдера (в,г).

На рисунке 4 приведен внешний вид видоизмененного многовходного экструдера, в котором были модифицированы подводы нагревательных элементов, а также внутренняя конструкция – для более эффективного перемешивания полимера внутри экструдера.

Диаметр выходного отверстия экструдера составляет 0,3 мм.

Для цифрового управления принтером был использован микроконтроллер марки Amel atsam3x8e (рисунок 5).

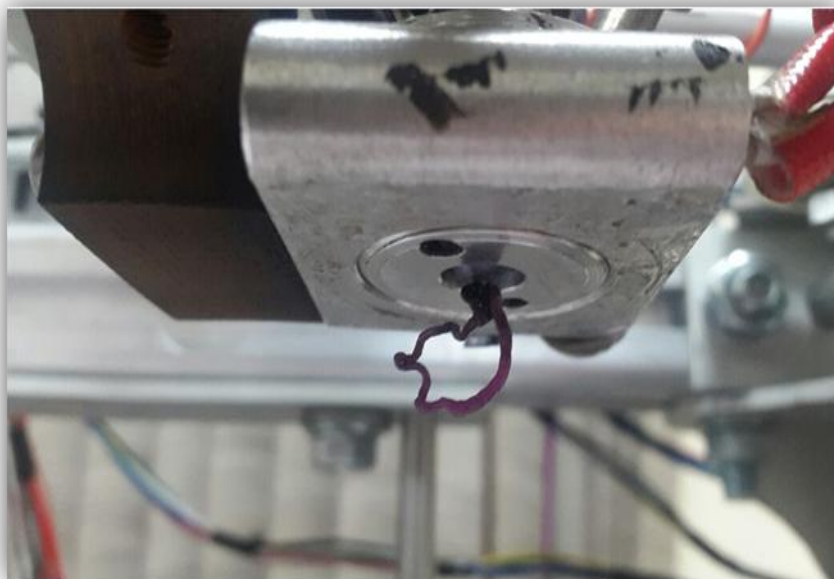


Рис. 2 – Фотография процесса выхода самого первого экземпляра цветного волокна из многоходового экструдера



а)



б)



в)



г)

- а) крепление тефлоновых труб с помощью муфты;
б) развальцовщик тефлоновых труб; в) фото филлера;
г) вспомогательные приспособления для получения филлера методом продавливания

Рис. 3 – Вспомогательные инструменты для изготовления комплектующих деталей 3D принтера

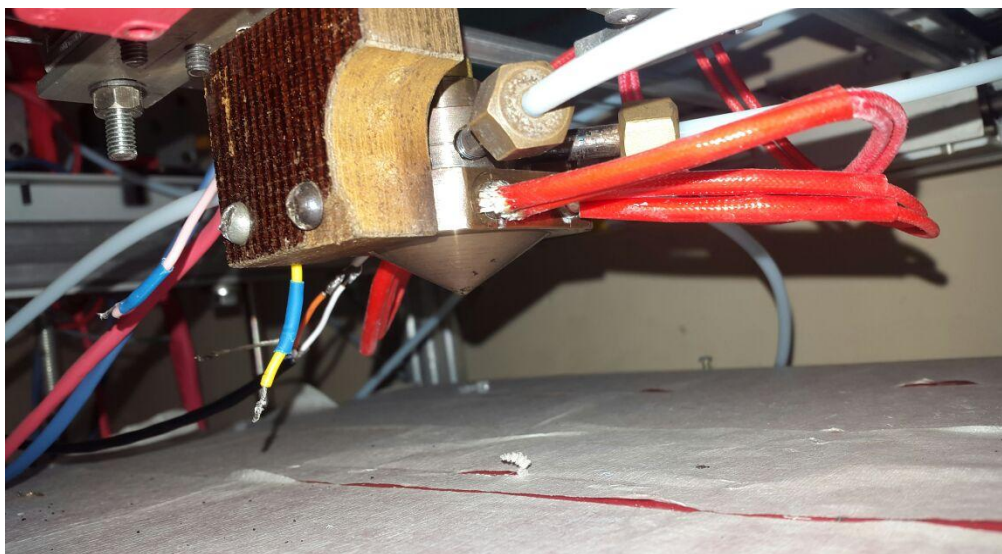


Рис. 4 – Внешний вид многовходного экструдера после модификации

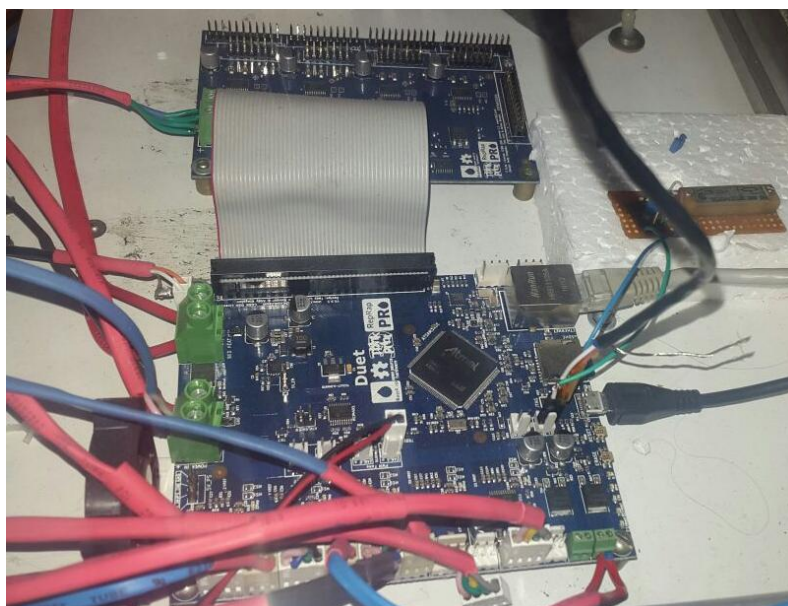


Рис. 5 – Микроконтроллер цветного 3D принтера в сборе

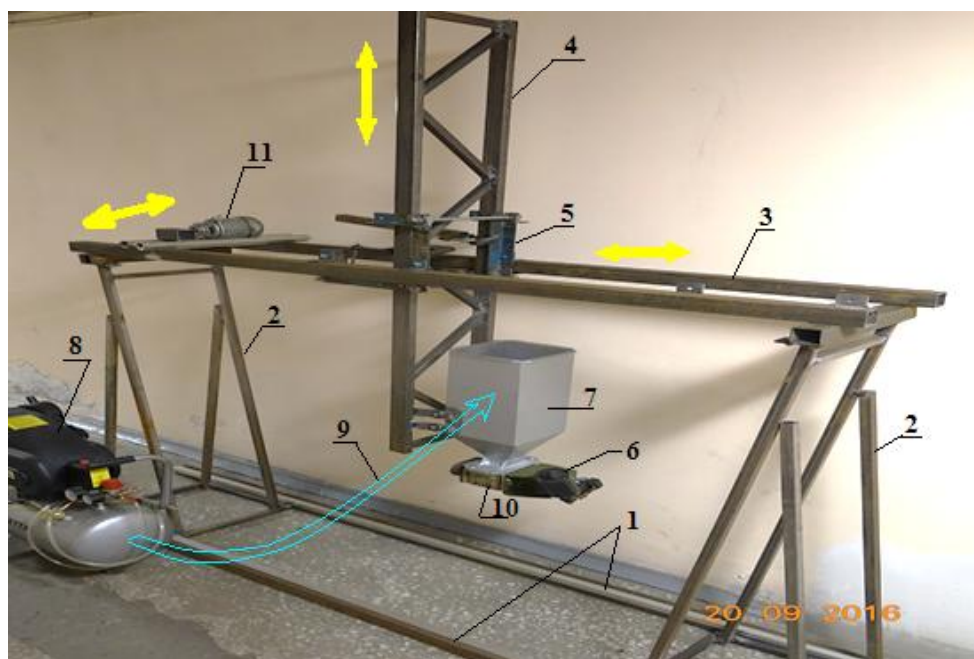
Разработка и изготовление прототипа 3D принтера для постройки домов.

Была создана промежуточная пилотная установка для опробования различных электрических и механических технических решений, тестирования программ управления и режимов работы 3D принтера для постройки домов (рисунок 6).

Посредством подвижной каретки 5, рамы вертикального перемещения 4 и рельсов 1 осуществляется перемещение дозирующего

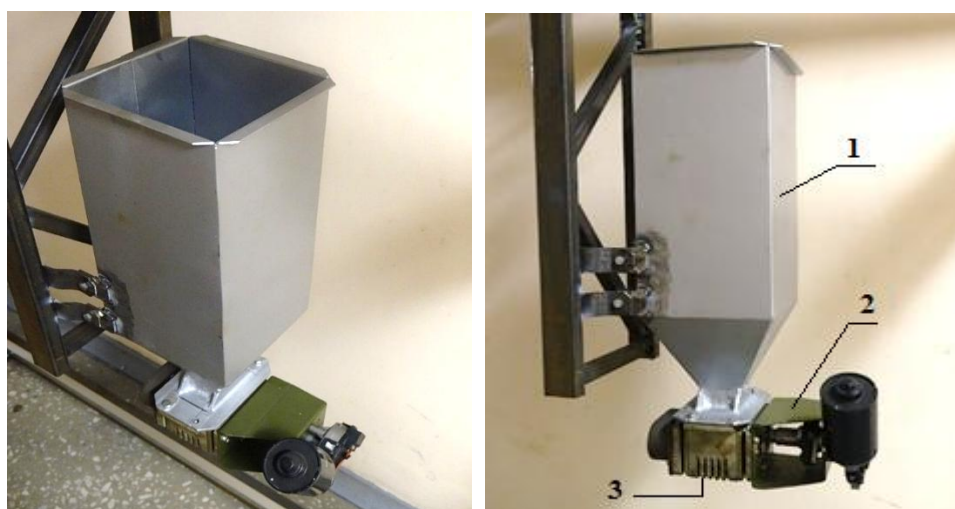
насоса 6 по координатам x , y , z , привод осуществляется электродвигателем 11. Бетононасосом 8 по шлангу 9 цементная смесь подается в подвижный бункер 7 и далее в дозирующий насос 6, который через фильеру 10 выдавливает цементную смесь на печать изделия. Синхронизация перемещения насоса 6 и фильеры 10 со скоростью (м/с) выдавливания цемента смеси осуществляется электронным блоком управления.

Фотография нового экструдера для бетонной смеси приведена на рисунке 7.



1 - рельсы, 2 - опорные стойки, 3 - направляющая рельсы, 4 - вертикально перемещающаяся рама, 5 - подвижная каретка, 6 - дозирующий насос (с экструдером), 7 - бункер, 8 - компрессор, 9 - подающий шланг, 10 - фильера, 11 - электродвигатель

Рис. 6 - Пилотный 3D принтер для создания изделий из бетона
(Размер 1,5x2 x1,2 м)



1 – бункер, 2 – редуктор, 3 – дозирующий смеситель

Рис. 7 – Отечественный экструдер 3D принтера для создания изделий из бетона

Процесс печати происходит следующим образом: в печатающую головку подается бетонная смесь, затем с помощью утрамбовывающих лопастей смесь подготавливается к печати, далее на выходе получаем непрерывный слой бетона со следующими параметрами бетона: высота – 1,5 см, и ширина 4 см (толщина получившейся стенки). Производитель-

ность печати составляет 15 см/с, другими словами 9 м в минуту.

Главной особенностью данного экструдера является следующее: конструктивно предусмотрены меры по предотвращению процесса заклинивания частицами бетона, а с другой стороны, обеспечивается однородность подачи бетонного раствора. К данному способу изго-

товления настоящего экструдера пришли после подробного изучения литературных работ по реологии. Бетонный раствор является жидкостью Сэнт - Жевена, а с другой стороны, содержит частицы щебня, которые могут создать процессы заклинивания. Еще раз заметим, что эти проблемы с помощью нашего созданного экструдера устранены. Для увеличения подвижности бетонного раствора был дополнительно подключен вибратор, что не вызывает сомнения о правильности данного технического решения.

Как отмечалось ранее, при строительстве каркаса дома с помощью 3D принтера становится очень важным время схватывания растворов бетона для возможности наращивания большой высоты дома, слой за слоем без останков. Поэтому для разработки технологии приготовления быстротвердеющей смеси исследовали характер действия ускорителя затвердевания в зависимости от концентрации и природы добавок для приготовления цементного раствора и также оценили влияние температуры путем нагрева бетонной смеси. Исходя из экономической целесообразности, эксперименты по влиянию температуры делали выборочно, но при этом эксперименты по добавке химических ускорителей делали многократно для нахождения лучших времен схватывания бетона.

Для приготовления быстротвердеющей цементной смеси, в качестве исходного сырья были использованы цемент, песок и в качестве химической добавки хлорид кальция и нитрат кальция в разных соотношениях. После перемешивания состава добавили воду, затем готовый раствор наливали в стандартную железную форму с размером $1 \times 1 \times 1$ см. Железная форма состоит из 6 кубов. В каждый кубик наливали цементную смесь с разными процентными соотношениями (от 1 % до 6 %). После определенного времени железную форму открывали наполовину (форма состоит из двух частей), затем проверяли отверждения цементного раствора. В результате, цементные растворы имеющие в своем составе 3% и 4% химического реагента, показали быстрое затвердевание. Далее, исходя из этого, был проведен ряд экспериментов на приборе Вика, где массовое соотношение цемента, песка и химического реагента составляет 120/240/7,2 г, 10,8 г и 14,4 г = 2/1/0,3, 0,2 и 0,1. В таблице 1 приведены экспериментальные технические данные для практического применения их для строительства каркасов дома из бетона с помощью 3D принтинга.

Было показано, что добавка хлорид кальция 3 % и 4 % сокращает время схватывания достаточное для технологических нужд при использовании 3D принтера из цементного раствора.

Таблица 1 – Оптимальные составы быстротвердеющей цементной смеси для нужд технологии 3D принтинга при строительстве каркасов дома из бетона

№	Химические реагенты	Добавка реагента в % от веса цементной смеси	Начало схватывания	Конец схватывания
1	Хлорид кальция	3	10 мин	30 мин
		4	15 мин	40 мин
2	Нитрат кальция	3	1 ч.	1 ч. 30 мин
		4	45 мин	1 ч.

На основе полученного состава на рисунке 8 представлены фотографии напечатанной стены.

Толщина каждого слоя составляла 2 см. На этих фотографиях представлены лицевые стороны стены. Отметим, что никакой обработке они не подвергались, что еще раз доказывает правильность выбранной добавки, а конструкция установки позволяла проводить незначительное сглаживание одного слоя. Временной промежуток схватывания бетонных растворов между слоями составлял 10-15

минут. Ниже представлены изображения внутренней части стены. На них можно четко увидеть каждый слой. Также на данной установке был сделан квадрат 35×35 см высотой около 14 см. Для полной проверки эффективности раствора с добавками, стоит отметить, что для достижения всех необходимых свойств бетонной смеси необходимо использовать комплексные добавки. Все добавки в совокупности не превысят 4 % от всей массы бетонного раствора.



Рис. 8 – Пилотная установка для исследования схватывающих добавок для бетона

В результате проведенной работы был получен состав добавки, ускоряющий схватывание бетонной смеси. Время схватывания определялось пенетрометром в соответствии с ГОСТом РК. Собранная пилотная экспериментальная установка также позволила наглядно продемонстрировать процесс схватывания и застывания бетона без использования опалубок.

Заключение

По итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Полностью был разработан и собран первый отечественный 3D принтер, печатающий цветные пластмассовые изделия. Разработан инновационный экструдер, с помощью которого возможно получить заданный тон цвета. Посредством компьютерных программ было модифицировано программное обеспечение для 3D принтера с многовходным экструдером.

2. Специалистами института разработан состав быстросхватывающегося бетона, необходимого для постройки домов методом 3D прintrинга.

3. Собран прототип 3D принтера для постройки домов. На данной пилотной установке проведены эксперименты на основе быстросхватывающегося состава бетонной смеси,

которые показали, что такой состав обеспечивает затвердевание бетона в течении 15 минут, что является одним из основных требований при постройке дома методом 3D прintrинга.

Литература

- 1 https://www.dipaul.ru/upload/iblock/581/dipaul_3d.pdf
- 2 <http://research.bsu.by/wp-content/uploads/2015/06/Филатов-СА-Аdditивные-технологии.pdf>
- 3 Zh.E. Ydyryssova, Ch.B. Daulbayev, Ph.R. Sultanov, Z.A. Mansurov, E.T. Aliyev, Production of three-dimensional objects on the installation “3D Printing + electrospinning”, Горение и плазмохимия, 15 (2), С. 184, 2017
- 4 Ч. Б. Даулбаев, Т. Дмитриев, Ф. Р. Султанов, З.А. Мансуров, Е.Т. Алиев, Получение трехмерных наноразмерных объектов на установке «3d прintrинг + электроспиннинг» Инженерно-физический Журнал 2017 г. том 90, № 4
- 5 <http://specavia.pro/articles/2238/>
- 6 <http://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/shanghai-company-winsun-has-printed-a-fivestorey-house-and-mansion/>
- 7 http://www.inform.kz/ru/kitayskaya-kompaniya-mozhet-zanyat-sya-3d-pechat-yu-1-5-mln-domov-v-saudovskoy-aravii_a2933481

**КАЗАҚСТАНДА ҚОСПА ТЕХНОЛОГИЯЛАР:
АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ****Даулбаев Ч.Б., Дмитриев Т.П., Алиев Е.Т.**РГП «Институт проблем горения»
timur_dmitriyev@yahoo.com**Анатпа**

Жұмыстың негізгі мақсаты түрлі түсті пластикадан бұйымдарды алу кезінде қолданылатын 3D принтерді құрастыру және әзірлеу. Сонымен қатар арнайы тез жабысатын бетон негізінде құрылыста үй салу кезінде қолданылатын 3D принтерді құрастыру және әзірлеу болып табылады. Жұмыс барысында пластиктен түрлі түсті бұйым пішіндейтін 3D принтердің отандық мамандардың арқасында алғаш рет қаңқасы мен электрондық құрылғылары құрастырылды; аталған принтерге жаңадан көптектік экструдер проектелді және жасалынды; үй салуда қолданылатын 3D принтердің тұпнұсқасы құрастырылды; арнайы тез жабысатын бетон құрамын алудың жолдарын институт мамандары арқылы іске асырылды; бетонның тез жабысуы мен беріктік қасиетін арттыру мақсатында отандық импульсті электроспиннинг құрылғысы арқылы алынған қысқа әрі наноразмерлі талшықтарды қосу. Сонымен қатар 3D принтердегі жүзеге асыратын C++ программаларды модификациялау жүргізілді, толықтырулар енгізілді.

Түйінді сөздер: аддитивті өндірістік, 3D принтер, бетон, бағдарламалық жасақтама

**АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КАЗАХСТАНЕ:
АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ****Даулбаев Ч.Б., Дмитриев Т.П., Алиев Е.Т.**РГП «Институт проблем горения»
timur_dmitriyev@yahoo.com**Annotation**

The aim of this research is to design and create a 3D printer that prints color plastic products, as well as the development and manufacture of 3D printer to build houses on the basis of a special quick-setting concrete composition. In the process of this work the frame and electronic parts of the first domestic 3D printer for color plastic products printing were assembled; a special multi-input extruder for the printer was designed and created; a prototype of 3D printer for houses model printing was created; a scheme of obtaining a special quick-setting concrete, the composition of which was launched by specialists of the Institute was set up; explored new applications of nanoscale short fibers obtained on the domestic electrospinning (electroforming) installation, in order to improve the setting time, and further increase the strength of concrete. In addition, using programming languages such as C ++, it has been supplemented and modified software for 3D printers.

Key words: additive manufacturing, 3D Printing, concrete, software