

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.3-047.58

СНИГИРЁВ  
Павел Андреевич

**КОНСТРУКТИВНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ 3D ПРИНТЕРА CUBEX ДЛЯ  
ПЕЧАТИ PLA И ABS ФИЛАМЕНТАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ  
магистерской диссертации на соискание степени  
магистра технических наук

по специальности 1–36 80 08 «Инженерная геометрия и компьютерная  
графика»

Научный руководитель  
кандидат техн. наук, доцент  
Столер Владимир Алексеевич

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре инженерной и компьютерной графики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Столер Владимир Алексеевич**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Калтыгин Александр Львович**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита диссертации состоится «21» июня 2018 г. года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 4 уч. корп., ауд. 804, тел.: 293-89-92, e-mail: [kafei@bsuir.by](mailto:kafei@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

С начала нового тысячелетия понятие «3D» закрепилось в области разработок. В первую очередь, мы связываем его с киноискусством, фотографией или мультипликацией. Но едва ли сейчас найдётся человек, который хотя бы раз в жизни не слышал о такой новинке, как 3D-печать.

Применение трехмерной печати – это серьезная альтернатива традиционным методам прототипирования и мелкосерийному производству. Трёхмерный, или 3D-принтер, в отличие от обычного, который выводит двухмерные рисунки, фотографии и так далее на бумагу, даёт возможность выводить объёмную информацию, то есть создавать трёхмерные физические объекты.

Сегодня перенести текст либо картину с экрана монитора на тонкий лист бумаги сейчас уже не составляет труда – делается это чрезвычайно быстро, реализуется просто, а употребляется везде — принтер и сканер справляются с этими задачами на высоком уровне. Но что делать, если вдруг нужно перенести деталь либо модель в большой и осязаемый макет? Выпиливать его вручную, соблюдая все размеры и пропорции, при всем этом затрачивая огромное количество времени на обработку материала и много ресурсов? Печать 3D как раз и предназначена для того, чтобы решить такие трудности и позволить человеку не только лишь распечатывать информацию в плоскости, но и создавать осязаемые трехмерные модели и макеты.

3D-принтер — устройство, использующее метод создания физического объекта на основе виртуальной 3D-модели. Именно такое устройство будет описано в данном проекте. 3D-принтер, как и обычный принтер подключается к ПК и при помощи специальной программы создаёт заданные объекты.

Основными целями данного проекта являются: исследование основных недостатков 3D-принтера CubeX, а также последующая разработка и модернизация его конструкции с целью улучшения качества выпускаемой продукции.

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## **Актуальность темы исследования**

В последнее время успешно развивается так называемая трехмерная печать для изготовления предметов с использованием 3D принтера. Современные технологии 3D печати предполагают наличие хорошего конструктива для получения качественных изделий. Вместе с тем имеющиеся на рынке модели 3D принтеров не всегда отвечают требованиям пользователя что дает ему повод улучшать их конструкцию.

## **Степень разработанности проблемы**

В процессе работы над магистерской диссертацией были рассмотрены основные вопросы, касающиеся трехмерной печати и работы с материалами для печати. Также были сформированы требования к трехмерному принтеру CubeX, чтобы появилась возможность качественной трехмерной печати PLA и ABS филаментами. Кроме того, в работе было произведено множество опытов для выявления всех преимуществ и недостатков 3D принтера CubeX, а также были найдены, близкие к идеальным, параметры для печати.

В работе также разработаны трехмерные модели улучшенных деталей для 3D-принтера.

## **Цель и задачи исследования**

Целью данной магистерской диссертации является улучшение конструкции трехмерного принтера CubeX, что позволит повысить качество изделий на выходе, а также даст возможность работать с ABS пластиком.

Решение данной задачи требует понимания принципов работы трехмерного принтера, подробное рассмотрение его характеристик и возможностей, выбор наиболее оптимального решения для достижения результатов.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи:**

- осуществить обзор современных технологий трехмерной печати, а также используемых для трехмерной печати материалов;
- провести анализ имеющегося трехмерного принтера CubeX, выявить его преимущества и недостатки;
- найти основные параметры, влияющие на качество трехмерной печати;
- провести анализ рабочей платформы принтера CubeX;
- сформировать технические требования, выдвигаемые к новой конструкции рабочей платформы, системе подачи прутка (филамента) и модулю управления;
- произвести расчёт параметров;
- осуществить выбор радиоэлементов печатной платы;
- смоделировать новую рабочую платформу;
- обновить программное обеспечение и провести тестовую печать.

**Объектом** исследования является 3D принтер CubeX.

**Предметом** работы выступает конструктивная модернизация 3D принтера CubeX.

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1–36 80 08 «Инженерная геометрия и компьютерная графика».

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли результаты опытных экспериментов, а также известные решения в области трехмерной печати.

Для получения теоретических результатов исследования применялись сведения о качестве трехмерной печати, был произведен их анализ, выбраны оптимальные технологии, соответствующие поставленной задаче.

**Информационная база** исследования сформирована на основе данных, полученных из научных публикаций и собственных исследований.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке новой конструкции рабочей платформы с подогревом. Подобные решения могут применяться к большинству других трехмерных принтеров с отличием в креплении.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Основные критерии для работы 3D принтера CubeX, выявление всех его преимуществ и недостатков, анализ полученных данных во время экспериментальной печати, способы решения поставленных задач.

2. Моделирование новой конструкции подогреваемой платформы. Проектирование топологии печатной платы микроконтроллера.

3. Обзор САПР, который использовался в работе, а также обзор полученных изделий на обновленном 3D принтере.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней предложен подход к экономически выгодной модернизации трехмерных принтеров.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что предложенные улучшения действительно действующие, а также открывают новые возможности для улучшения трехмерного принтера. Предложенные решения расширяют функциональные возможности трехмерного принтера CubeX, а именно позволяют изготавливать качественные модели из PLA и ABS филаментов.

### **Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследования были представлены на 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

### **Публикации**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в опубликованной работе «Пути усовершенствования конструкции 3D принтера CUBEХ» общим объемом 2 п.л., в том числе в сборнике материалов

54-й СНТК за 2018 г., авторским объемом 2 п.л.

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, шести глав, заключения и библиографического списка. Общий объем диссертации – 68 страниц. Работа содержит 15 таблиц, 54 рисунка. Библиографический список включает 41 наименование.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние и перспективы развития трехмерной печати.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** представлен обзор современных 3D принтеров, имеющих на рынке

Во **второй главе** представлен обзор существующих технологий трехмерной печати и используемых материалов

В **третьей главе** проведен анализ трехмерного принтера CubeX, а также, полученных с его помощью, изделий.

В **четвертой главе** описывается способ проведения улучшений трехмерного принтера CubeX.

В **пятой главе** проводится разработка модуля управления шаговыми двигателями для получения возможности дальнейшей модернизации.

В **шестой главе** описывается получение новых изделий на обновленном трехмерном принтере CubeX.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы трехмерный принтер CubeX был существенно изменен с целью расширения своих функциональных возможности для качественной печати разными филаментами в виде PLA и ABS-пластиков.

Для этого необходимо было подробно изучить принципы работы всех узлов, изучить параметры печати, а именно найти наилучшую температуру нагрева пластика в экструдере, приемлемую скорость печати, формат подложки для печати, лучший процент заполнения изделия. После проведения множества опытов были составлены определенные требования к новой конструкции трехмерного принтера CubeX, в частности к рабочей платформе.

Установлено, что для улучшения качества печати физических моделей необходима подогреваемая рабочая платформа, чтобы поддерживать температуру нижних слоев изделия во время печати для предотвращения их

деформации и отслоения от поверхности. Для этого было разработано новое основание рабочей платформы, которое имеет возможность работать с нагревательными элементами. Было найдено готовое решение в виде плоского нагревательного элемента, что значительно сократило время разработки платформы. При этом нагревательный элемент не требует обязательного контроля температуры, т.к. по умолчанию он разогревается до необходимых нам 130 °С. Также был решен вопрос с повышением адгезии изделия к элеватору за счет использования тонкой пленки Kapton.

Во время печати на 3D принтере был отмечен существенный недостаток в виде очень длинного пути прохождения филамента к печатающей головке, из-за чего филамент часто ломался, прерывая печать почти готового изделия. Данная проблема была решена с помощью установки нового держателя бобины с филаментом рядом с экструдером.

Изменение способа подачи прутка повлекло за собой новые сложности, а именно отказ трехмерного принтера работать с новой бобиной, требуя установить картридж, предусмотренный производителем. Данный вопрос был решен посредством замены фирменного программного обеспечения на слайсера Kisslicer 1.6.3 Данное изменение открыло новые возможности для печати, а именно разблокировало множители скорости печати, температуры, а также позволило задавать новые подложки для печати. Печать при этом стала гораздо дешевле, так как теперь нет необходимости покупать фирменные картриджи.

Для последующих модернизаций был разработан новый контроллер шаговыми двигателями, который так же способен контролировать температуру подогрева рабочей платформы. Особенностью нового контроллера так же является и то, что он способен работать со всеми известными форматами слайсеров, а также у него есть возможность работать сразу с тремя экструдерами.

После проведенных изменений можно с уверенностью сказать, что цель в виде качественной печати PLA и ABS-пластиком достигнута, при этом были открыты новые пути для последующих улучшений 3D-принтера CubeX.

#### **Список опубликованных работ**

[1–А.] Столер, В.А., Олешко, А.Е., Снигирев, П.А. Конструктивно-программная модернизация 3D принтера CUBEX. Сборник трудов Междунар. научно-практ. конференции «Инновационные технологии в инженерной графике: Проблемы и перспективы» 20 апреля 2018, Брест БГТУ, Новосибирск НГАСУ(Сибстрин), 2018.

[2–А.] Снигирев П.А. Пути усовершенствования конструкции 3D принтера CUBE X. Тезисы 54 СНТК БГУИР, 26 апреля 2018, секция «Инженерная и компьютерная графики», Минск: БГУИР, 2018.