

Муниципальное автономное образовательное учреждение «Лицей №38»  
Советского района города Нижнего Новгорода

---

**Секция:**  
**Инженерная**

**Тема:**  
**3D – принтер своими руками**

**Автор: Климин Валерий Олегович**

**Научный руководитель: Еделев Андрей Юрьевич**

**Место выполнения работы: Муниципальное автономное  
общеобразовательное учреждение «Лицей №38»**

**2023**

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 1. Обзор используемых компонентов .....	4
1.1 Контроллер Anycubic Trigorilla.....	4
1.2 Одноплатный компьютер Orange Pi Zero .....	6
1.2 Система автоматизированного проектирования Onshape .....	8
1.4 Прошивка Klipper.....	9
Глава 2. Компоненты для создания устройства.....	10
2.1 Конструкция Prusa Mendel i2.....	10
2.2 Шаговый двигатель 17HS4401 .....	11
2.3 Драйвер A4988.....	13
2.4 Драйвер TMC2208.....	14
2.5 Нагревательный стол Anycubic Heatbed.....	15
Глава 3. Практическая часть.....	16
3.1 Компоненты для сборки .....	16
3.2 Сборка рамы .....	17
3.3 Сборка электронной схемы проекта. ....	18
3.4 Решение возникших проблем .....	19
3.5 Мультиматериальная печать.....	21
3.6 Завершенный проект.....	22
Глава 4. Процесс печати модели .....	23
Глава 5. Сравнение с аналогами.....	24
Глава 6. Заключение .....	25
Глава 7. Список литературы .....	26

## **Введение**

Собрана действующая модель 3D - принтера своими руками. Устройство предназначено для следующих целей: создания объемных моделей, деталей и предметов различного назначения.

К созданию проекта подтолкнуло желание усовершенствования существующей модели с минимальными затратами.

**Актуальность:** Многие современные высококачественные 3D-принтеры имеют высокую стоимость. Целью данного проекта является стремление повысить качество 3D-печати при использовании более дешёвой конструкции, применяя современные технологии.

**Цели и задачи проекта:** усовершенствовать существующую конструкцию 3D-принтера для более высокого качества печати из подручных материалов и средств

## Глава 1. Обзор используемых компонентов

### 1.1 Контроллер Anycubic Trigorilla

Anycubic Trigorilla — плата-контроллер (рис.1), которая работает на микроконтроллере ATmega2560. Это стандартный контроллер для 3D-принтеров, основанный на RAMPS и изначально использующий прошивку Marlin. В настоящем проекте было принято решение заменить данную прошивку на Klipper. TriGorilla - это интегрированная основная плата, которая имеет больше функций премиум-класса.

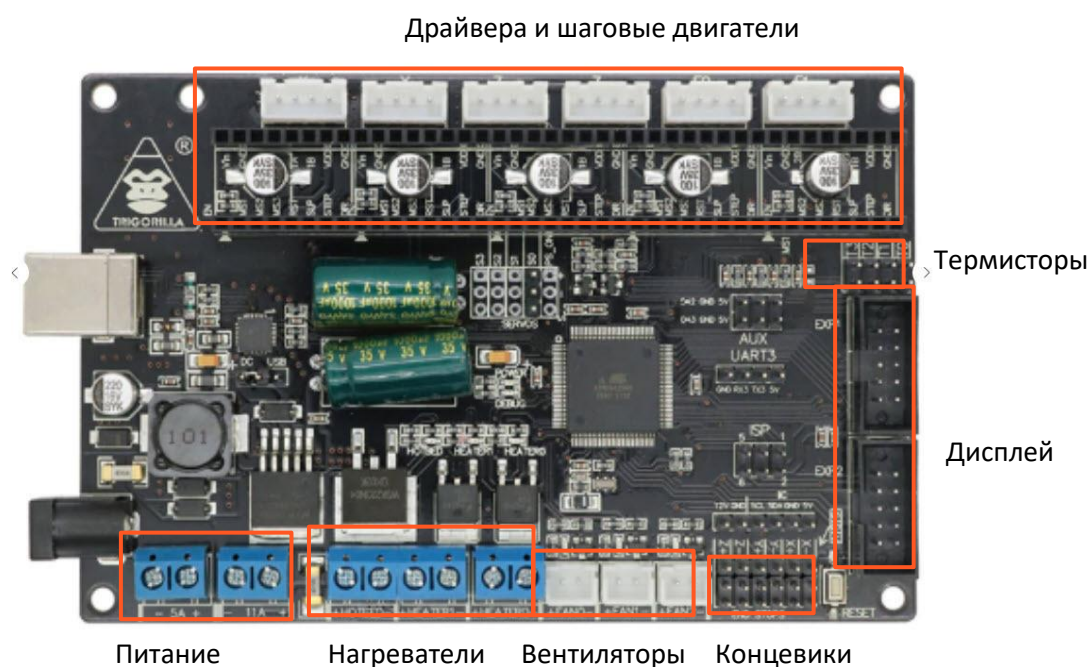


Рис.1 Плата-контроллер Anycubic Trigorilla

#### Технические характеристики Anycubic Trigorilla

Напряжение питания 10-30В;

Тактовая частота 16 МГц;

Возможность установить 5 драйверов шаговых двигателей;

Ток в режиме ожидания: 35 мА ± 5 мА

Драйверы шагового двигателя: 5 канал Макс

Контроль производительности нагревательной панели: 1 канала

Регулировка мощности обогрева: 2 канала

минимальный выходной контроль: 3 канала

Габаритные размеры: 125 мм x 82 мм

**Особенности:**

1. Простая установка:
2. Удобство использования
3. Отличная совместимость:
4. Защита от короткого замыкания:
5. Поддержка до 5 драйверов двигателей (A4988/DRV8825/TMC2100)
6. Широкое (универсальное) применение

## 1.2 Одноплатный компьютер Orange Pi Zero

Orange Pi Zero — одноплатный компьютер на основе процессора Allwinner H2+ (рис.2, рис.3), является одним из самых дешевых и популярных одноплатных компьютеров.

Этот микрокомпьютер не может похвастаться высокой производительностью, но зато обладает компактными габаритами, сверхнизким энергопотреблением и способен выполнять те задачи, для реализации которых будет мало платформы Arduino или ESP8266, а мощность микрокомпьютера уровня Raspberry Pi 3 или его более дорогих и производительных собратьев уже окажется избыточной.

В нашем проекте он работает на операционной системе Armbian. На нём работает хост прошивки Klipper.



Рис.2 Одноплатный компьютер Orange Pi Zero

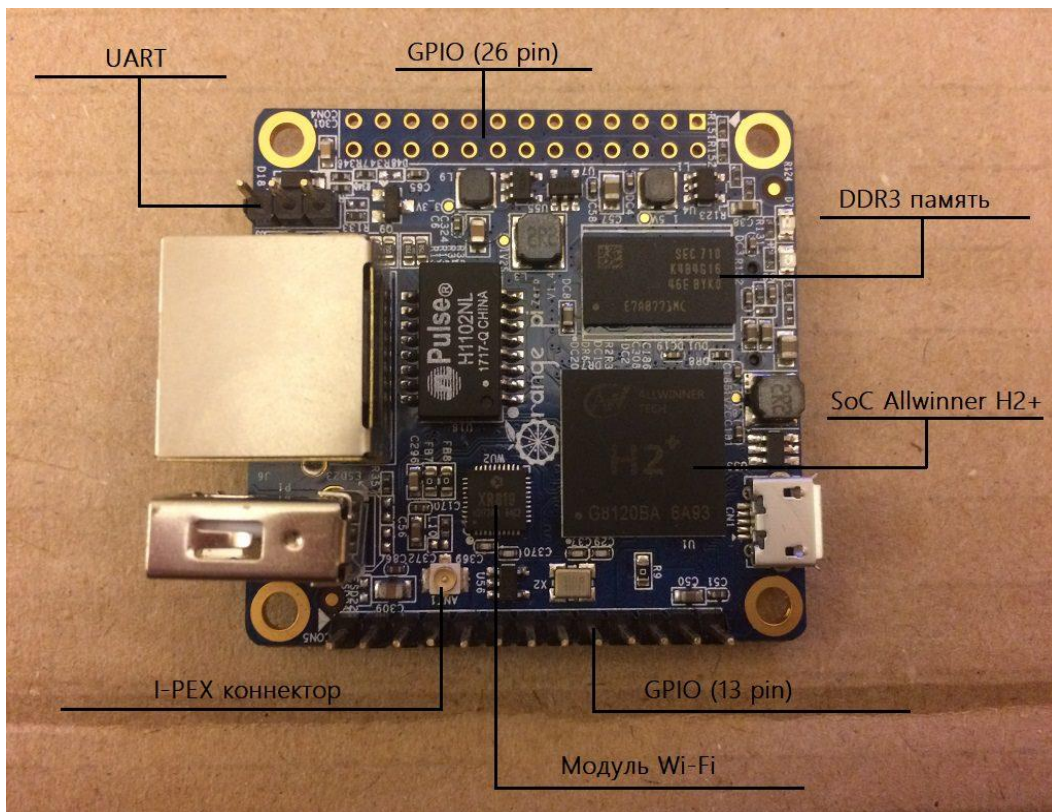


Рис.3 Одноплатный компьютер Orange Pi Zero

### Технические характеристики Orange Pi Zero

Напряжение питания 5В;

Allwinner H2 — 4х-ядерный Cortex-A7 процессор;

512MiB оперативной памяти;

SD-карта в качестве хранилища;

Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n;

Размеры 48мм×46мм.

Orange Pi Zero имеет две гребенки GPIO — на 13 и на 26 пинов. 13-пиновая гребенка используется для подключения Interface Board — платы расширения с дополнительными портами USB, аналоговым аудио-видео выходом, микрофоном и ИК-портом. 26-пиновая гребенка доступна для подключения пользовательской периферии.

## 1.2 Система автоматизированного проектирования Onshape

Для разработки отдельных деталей принтера использовалась система автоматизированного проектирования Onshape (рис.4).

Это программная система автоматизированного проектирования (CAD), предоставляемая через Интернет по модели "программное обеспечение как услуга" (SAAS). В нем широко используются облачные вычисления, при этом трудоемкая обработка и рендеринг выполняются на интернет-серверах, а пользователи могут взаимодействовать с системой через веб-браузер или приложения для iOS и Android. Как система SAAS, обновления Onshape выпускаются непосредственно в веб-интерфейс, и программное обеспечение не требует обслуживания от пользователя.

Onshape позволяет командам совместно работать над единым общим дизайном, точно так же, как несколько авторов могут работать вместе, редактируя общий документ с помощью облачных сервисов. Он в первую очередь ориентирован на механический САПР (MCAD) и используется для проектирования изделий и оборудования во многих отраслях промышленности, включая бытовую электронику, механическое оборудование, медицинские приборы, 3D-печать, детали машин и промышленное оборудование.

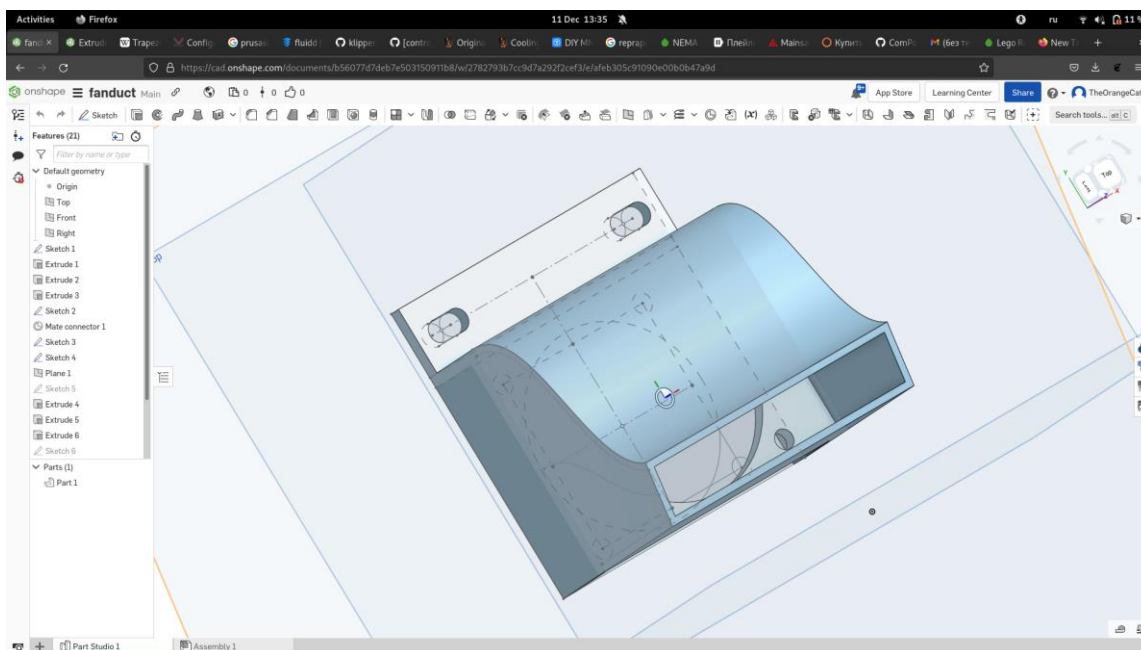


Рис.4 система автоматизированного проектирования Onshape



## 1.4 Прошивка Klipper



Klipper на данный момент является одной из самых передовых прошивок для 3D-принтеров и ЧПУ устройств в целом. Он отличается от большинства других прошивок использованием стандартного компьютера для расчётов, а микроконтроллер лишь используется для подключения к периферии принтера.

Благодаря этому Klipper может использовать сложные системы настройки печати, как компенсация резонанса и исправления перекоса. Это позволяет значительно повысить качество печати без сложных аппаратных модификаций.

## Глава 2. Компоненты для создания устройства

### 2.1 Конструкция Prusa Mendel i2

Данный проект использует конструкцию Prusa Mendel iteration 2. Она достаточно старая и имеет некоторые недостатки, но очень проста и дешева в сборке. Она основывается на печатных деталях, шпильках М8 и соответствующем крепеже.

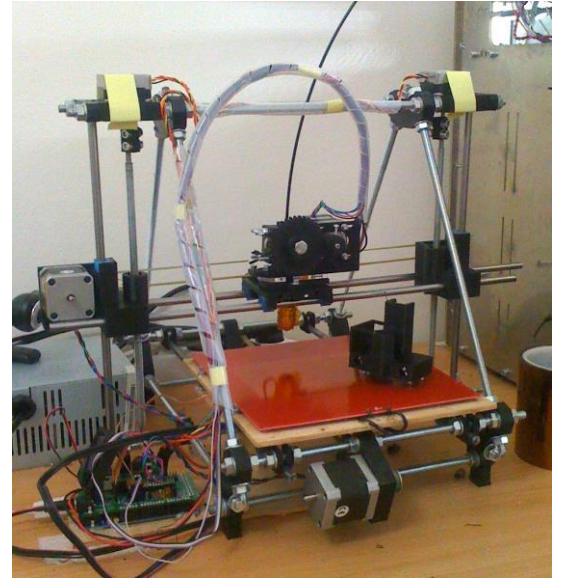


Рис.5 Конструкция Prusa Mendel

## 2.2 Шаговый двигатель 17HS4401

Перемещение по осям X, Y осуществляется с помощью шагового двигателя 17HS4401 (рис.6) и ремня GT2.

Шаговые двигатели представляют собой электромеханические устройства, задачей которых является преобразование электрических импульсов в перемещение вала двигателя на определенный угол. Достоинствами шаговых двигателей по сравнению с простыми являются:

- Высокая точность позиционирования и повторяемости — качественные ШД имеют точность не хуже 2,5 % от величины шага, при этом данная ошибка не накапливается при последующих шагах;
- Шаговый двигатель может быстро стартовать, останавливаться и выполнять реверс;
- Четкая взаимосвязь угла поворота ротора от количества входных импульсов (в штатных режимах работы) позволяет выполнять позиционирование без применения обратной связи;
- Шаговые двигатели обеспечивают получение сверхнизких скоростей вращения вала без использования редуктора;
- Шаговые двигатели работают в широком диапазоне скоростей, поскольку скорость напрямую зависит от количества входных импульсов.

Шаговые двигатели применяются там, где требуется высокая точность перемещений. Примеры использования – принтеры, факсы и копировальные машины, станки с ЧПУ, 3D-принтеры.

Шаговый двигатель NEMA17 42BYGH 17HS4401 самый мощный в своем классе, с током обмотки **1,7А** и крутящим моментом **5.5 кг×см**. Шаговый двигатель 17HS4401 с высоким крутящим моментом один из самых распространенных в серии NEMA17, который хорошо зарекомендовал себя в конструировании 3D-принтеров и ЧПУ- станков.



Рис.6 Шаговый двигатель

#### **Характеристики NEMA17 42BYGH 17HS4401:**

- Сопротивление фазы: 1.5 Ом;
- Крутящий момент: 5.5 кг×см;
- Момент удержания: 2.8 кг×см;
- Индуктивность: 2.8 мГн;
- Длина вала: 24 мм;
- Угловой шаг:  $1.8^\circ \pm 5\%$  (200 шагов на оборот);
- Макс. ток обмотки: 1.7 А;
- Диаметр вала: 5 мм;
- Тип: Биполярный;
- Число фаз : 2;
- Габариты корпуса: 42×42×48 мм;
- Вес: 0.35 кг;

## 2.3 Драйвер A4988

Для управления шаговыми двигателями используют специальные устройства – драйверы шаговых двигателей. Популярный драйвер шагового двигателя A4988 работает от напряжения 8 - 35 В и может обеспечить ток до 1 А на фазу без радиатора (и до 2 А с радиатором). Одним из параметров шаговых двигателей является количество шагов на один оборот  $360^\circ$ . Например, для большинства шаговых двигателей Nema 17 это 200 шагов на оборот, т.е 1 шаг равен  $1.8^\circ$ . Драйвер A4988 позволяет увеличить это значение за счёт возможности управления промежуточными шагами и имеет пять режимов микрошага (1(полный), 1/2, 1/4, 1/8 и 1/16).

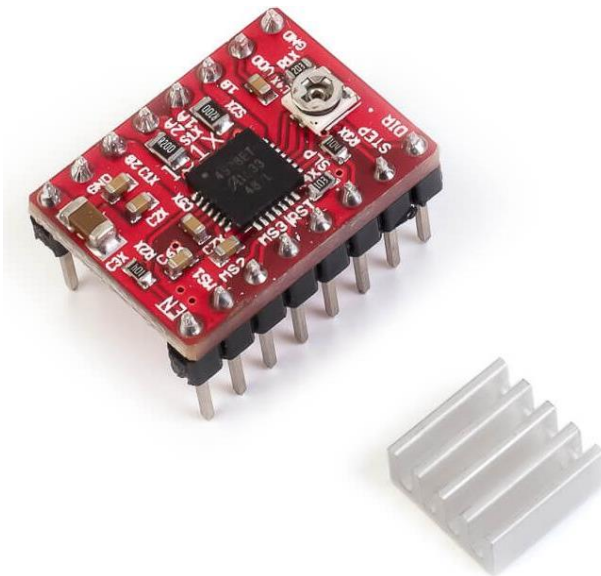


Рис.7 Драйверы шаговых двигателей

### Характеристики драйвера A4988

- напряжения питания: 8-35 В
- режим микрошага: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
- напряжение логики: 3-5.5 В
- защита от перегрева
- максимальный ток на фазу: - 1 А без радиатора; - 2 А с радиатором
- размер: 20×15 мм
- без радиатора: 2 г

## 2.4 Драйвер TMC2208

Данный проект также использует несколько драйверов TMC2208 (рис.8). Они отличаются более высоким разрешением, вплоть до 1/256 полного шага, а также встроенной интерполяцией, что позволяет снизить шум работы шаговых двигателей. Данный проект использует оба вида драйверов из-за доступности, но можно использовать только A4988 для экономии или TMC2208 для тишины и более высокого качества.

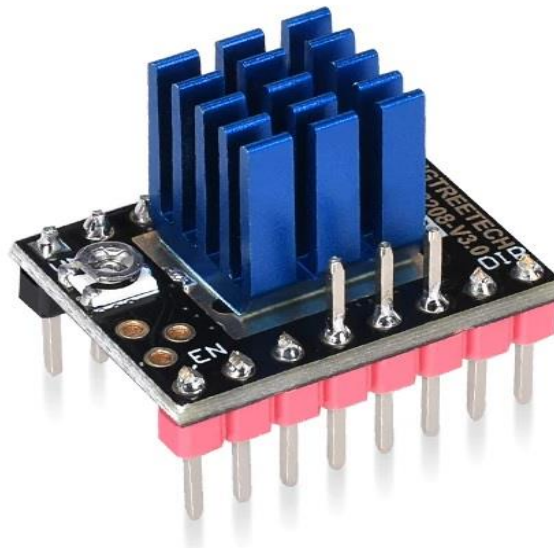


Рис.8 драйверов TMC2208

## 2.5 Нагревательный стол Anycubic Heatbed

В своем проекте мы использовали готовый нагревательный стол от Anycubic. На нём уже есть покрытие, необходимое для печати.



Рис.9 Нагревательный стол

## Глава 3. Практическая часть

### 3.1 Компоненты для сборки

Для сборки принтера нам потребовались:

- Шпильки М8 (6х 370mm, 4х 300mm, 3х 440mm);
- 2 трапецеидальных винта и соответствующие гайки;
- Печатные детали;
- 2 ремня GT2;
- 4 цилиндрических направляющих;
- 9 линейных подшипников;
- Крепеж М8, М3;
- Плата Anycubic Trigorilla;
- Orange Pi Zero;
- Блок питания;
- 2 драйвера А4988;
- 2 драйвера ТМС2208;
- 5 шаговых двигателей;
- 2 соединительные муфты;
- Детали экструдера;
- Нагреваемый стол;
- Подшипники 608ZZ;
- Кулер.



### 3.2 Сборка рамы

Сначала собираются 2 равнобедренных треугольника из шпилек, нарезанных на определенной длины участки, которые будут боковой рамой принтера и из пластиковых деталей крепления, напечатанных на работающем 3D-принтере. Используется 3 шпильки  $l=370\text{mm}$  и 3 печатных детали на каждый треугольник.

Потом они соединяются шпильками длиной 300 mm и 440 mm между собой, образуя раму принтера. При этом устанавливается нагревательный стол, цилиндрические направляющие и двигатель с ремнем GT2 по оси Y. Затем собирается ось X и устанавливается ось Z. На оси X устанавливается каретка для экструдера и соответствующие двигатель и ремень.

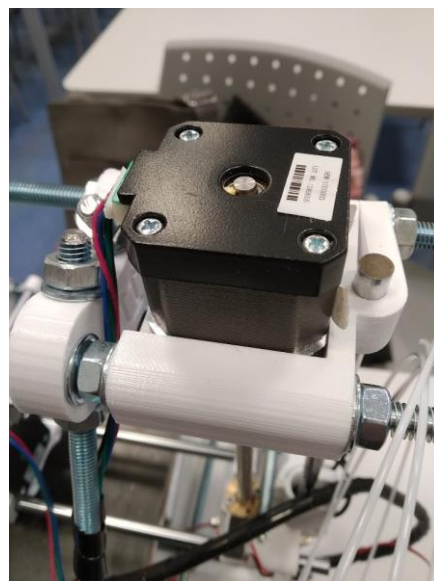
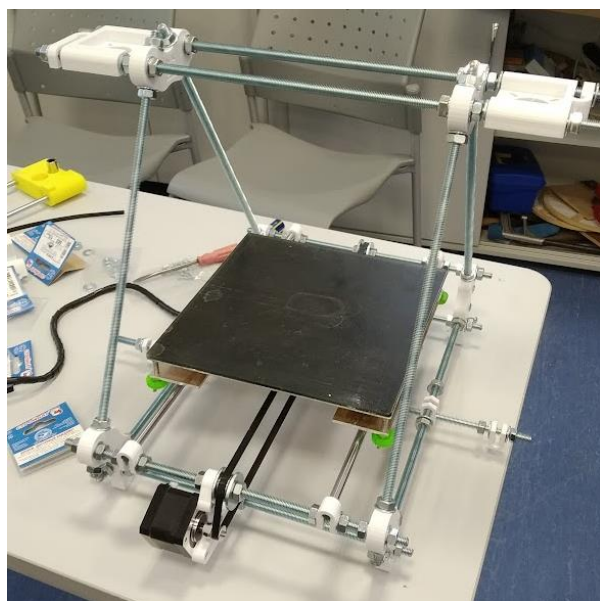


Рис. 10 Сборка рамы принтера

### 3.3 Сборка электронной схемы проекта.

На плату Anycubic Trigorilla устанавливаются 4 драйвера шаговых двигателей и подключаются шаговые двигатели.

К плате присоединяется блок питания для подключения к электросети, а также подключаются нагреватели стола и экструдера.

С помощью двух шлейфов к плате присоединяется экран для управления принтером без участия персонального компьютера. Также на экране отображаются параметры во время печати.

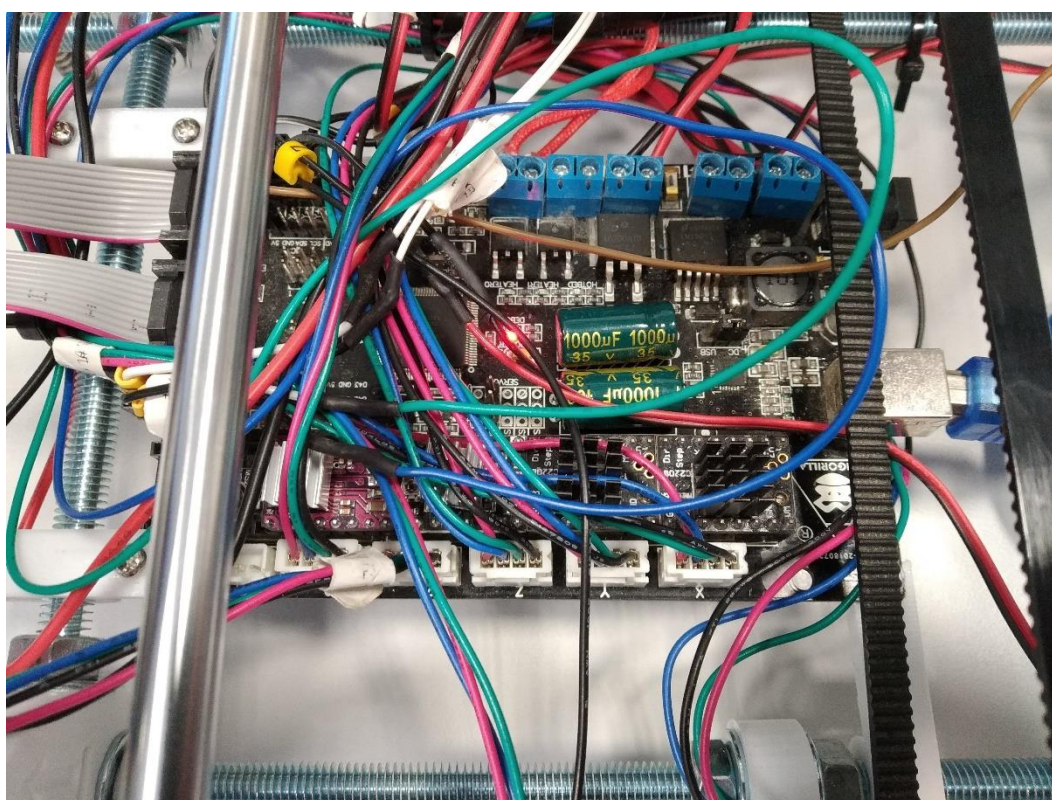


Рис.11 Электроника принтера

### 3.4 Решение возникших проблем

При пробной печати выявлялись различные дефекты в напечатанных деталях – неравномерность распределения материала, неровность печати.

Одной из возникших проблем оказалось близкая печать к нагревательному столу (рис.12).

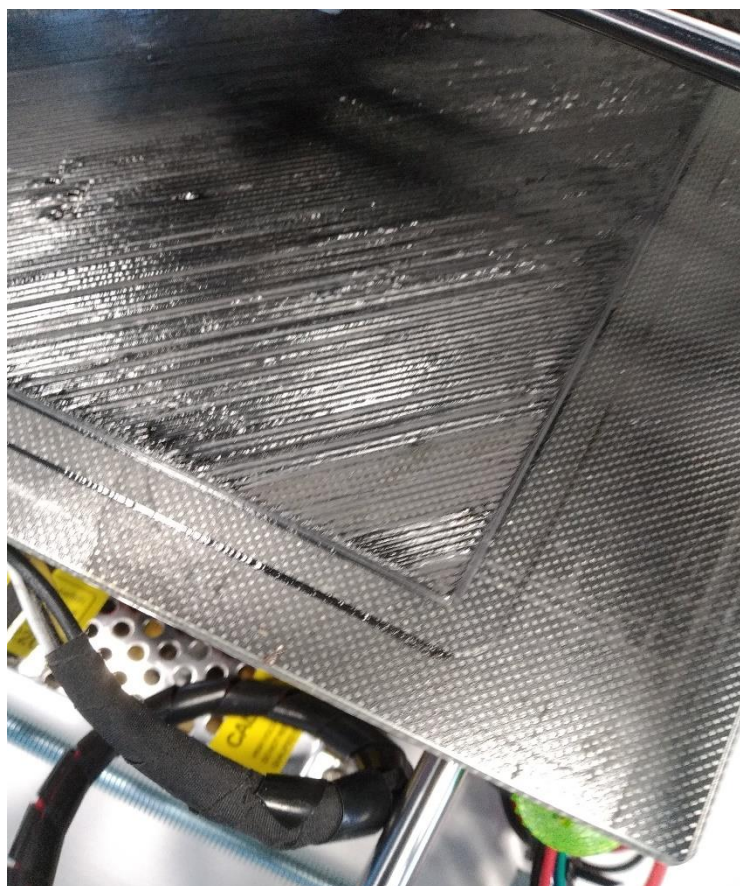


Рис. 12 Проблема близкого расположения к нагревательному столу

Мы проводили несколько калибровок разных систем принтера (рис.13), чтобы повысить качество печати. Одна из таких систем — Pressure Advance. Она подстраивает давление в экструдере при начале и остановке экструзии. Печатается тестовая модель, на которой на каждом слое варьируется значение Pressure Advance. Потом выбирается слой, на котором качество лучше всего и измеряется его высота.



Рис.13 Калибровка давления

### 3.5 Мультиматериальная печать

В рамках данного проекта конструкция принтера усовершенствована модулем мультиматериальной печати (Рис.14,15) – печати несколькими материалами (до 5), основанным на Prusa MMU2S.

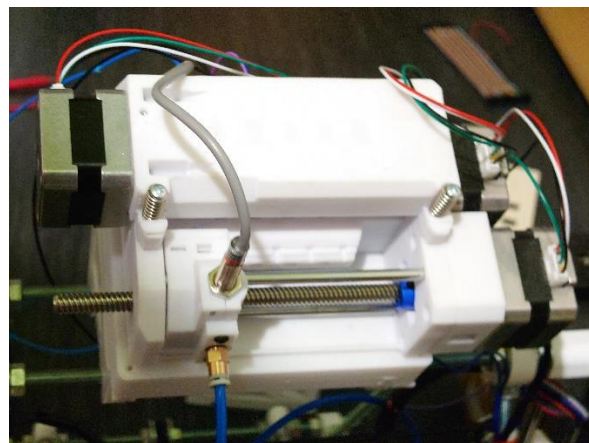


Рис.14, 15 Модуль мультиматериальной печати

В модуль подается 5 разных пластиковых нитей. С помощью подвижного селектора выбирается одна из нитей для подачи в экструдер принтера через тефлоновую трубку.

На модуле используется три шаговых двигателя, подключенных к отдельной плате-контроллеру Anycubic Trigorrilla, которая соединена с одноплатным компьютером через USB-кабель.

В прошивке Klipper создаётся новый файл конфигурации, в котором указываются настройки шаговых двигателей и специальный G-код для переключения пластика.

### 3.6 Завершенный проект

Завершенный проект представлен на рис.16.

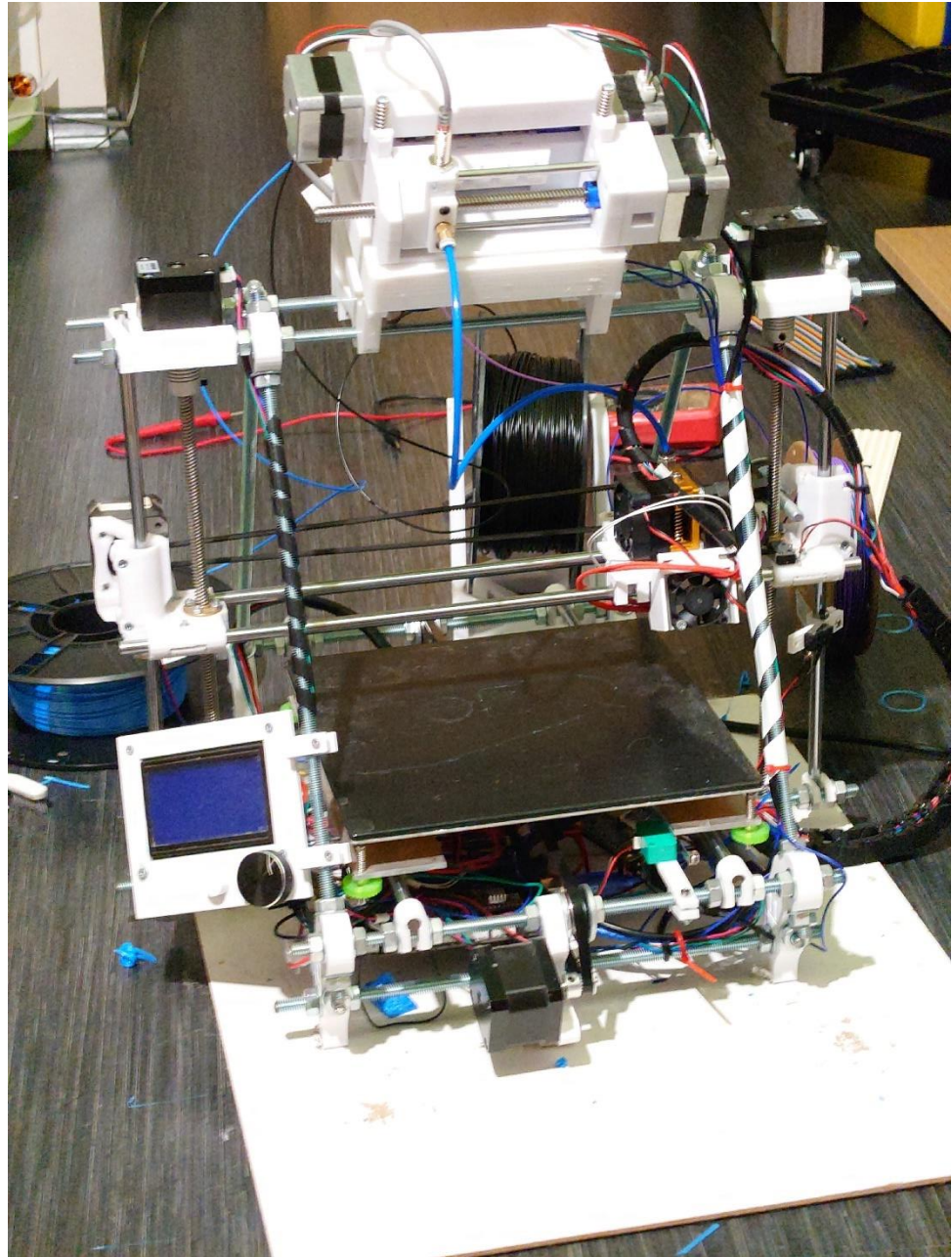


Рис.16 Завершенный проект

## Глава 4. Процесс печати модели

В программе Onshape проектируется объемная деталь в трехмерном пространстве, которая экспортируется в программу слайсер, преобразующую модель в команды для печати. Программа-слайсер задаёт траекторию движения экструдера 3D-принтера при нанесении расходного материала.

Устанавливается катушка пластиковой нити для 3D-печати. Конец нити заправляется в отверстие для подачи и продвигается вперёд до тех пор, пока он не упрётся в экструдер. Через несколько секунд из экструдера появится мягкая нить расплавленного пластика. Теперь можно приступать к печати.

На нагревательном столе происходит формирование готового объекта. Во время работы платформа движется вверх и вниз по оси Z. Печатающая головка выдавливает на рабочую платформу расплавленную полимерную нить, слой за слоем формируя готовый объект. Печатающая головка 3D-принтера движется по горизонтали и вертикали (оси X, Y).

Процесс трёхмерной печати довольно прост. Печатающая головка выдавливает в рабочую зону первый слой расплавленного пластика, после чего платформа опускается вниз на толщину слоя и начинается формирование следующего слоя, который накладывается поверх предыдущего. После завершения печати каждого слоя платформа опускается вниз, так происходит на протяжении всего цикла печати, пока на платформе не появится готовая деталь.

Чтобы напечатать трёхмерную модель, принтеру требуется несколько часов, в зависимости от сложности изделия.

## Глава 5. Сравнение с аналогами

	Наша модель	Аналог	Дорогой аналог
Стоимость	Ок. 18 000	25 000	60 000
Материал печати	PLA, PETG, Flex	PLA, PETG	PLA, PETG, ABS, Flex, Nylon, PC
Польза	Получение деталей различного назначения в домашних условиях	Получение деталей различного назначения в домашних условиях	Получение деталей различного назначения в домашних условиях
Размер печати	210x210x90	210x210x250	300x300x300



## Глава 6. Заключение

Практически каждый человек может собрать такой 3D-принтер у себя дома, ведь его стоимость достаточно мала, а возможностей применения очень много – печать пластиковых деталей домашней бытовой техники, различных емкостей или вазочек, игрушек.

## Глава 7. Список литературы

1. <https://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/Jetapy-3D-pechati>
2. <https://anycubicofficial.ru/products/trigorilla-motherboard-for-mega-kossel-chiron-4max-pro>
3. <https://dmitrysnotes.ru/obzor-odnoplalnogo-kompyutera-orange-pi-zero>
4. <https://robot-on.ru/articles/orange-pi-zero-ustanovka-sistemi>
5. [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17571](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17571)
6. <https://mysku.club/blog/china-stores/78287.html>
7. <https://robotchip.ru/obzor-drayvera-shagovogo-dvigatelya-a4988/>