

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

Научная статья
УДК 004.896
ББК 32.844.150.2
Т 34
DOI: 10.53598/2410-3225-2023-2-321-33-39

Особенности реализации экструдера филамента из PET-пластика на базе микроконтроллера Arduino Nano (Рецензирована)

Семен Васильевич Теплоухов¹, Вадим Борисович Тимаков²,
Кирилл Васильевич Седой³

¹⁻³ Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия

¹ tepl_sv@adygnet.ru

² setrikcs39@gmail.com

³ setrikcs39@gmail.com

Аннотация. Наиболее популярная технология 3D-печати Fused Deposition Modeling (FDM) требует большого количества пластиковой нити, поэтому целесообразно разработать специальное устройство – экструдер филамента для формирования нити из PET-изделий. Предлагаемое решение позволит перерабатывать пластмассу в пруток постоянного диаметра 1,75 мм. Для реализации была построена принципиальная схема устройства, выполнена 3D-печать катушки, на которую производится намотка нити, а также реализована программа для микроконтроллера Arduino Nano, с помощью которого возможно менять параметры работы устройства: температуру нагрева сопла и скорость намотки пластика. В результате был создан рабочий прототип экструдера, с помощью которого проведен ряд экспериментов, которые позволили получить оптимальные параметры функционирования устройства. Выполнено сравнение полученной нити с промышленным образцом. Таким образом, предлагаемый экструдер филамента из PET-пластика позволяет значительно повысить экономическую эффективность 3D-принтера.

Ключевые слова: микроконтроллер Arduino Nano, 3D-печать, экструдер, PET-пластик

Original Research Paper

Implementation of Arduino Nano microcontroller based PET-plastic filament extruder

Semen V. Teploukhov¹, Vadim B. Timakov², Kirill V. Sedoy³

¹⁻³ Adyghe State University, Maikop, Russia

¹ tepl_sv@adygnet.ru

² setrikcs39@gmail.com

³ setrikcs39@gmail.com

Abstract. The most popular Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printing technology requires a large amount of plastic filament. Thus, it is reasonable to create a special device – filament extruder for forming filament from PET products. The proposed solution will allow to process plastic into a bar with a constant diameter of 1.75 mm. To implement it, a circuit diagram of the device was built. 3D printing of the spool, on which the filament is wound, as well as a program for microcontroller Arduino Nano, which you can use to change the parameters of the device such as the temperature

of the nozzle heating and the winding speed of plastic, was made. As a result, a working prototype of the extruder was created, with the help of which a number of experiments were conducted, which made it possible to obtain the optimal parameters of the device functioning. The comparison of the obtained filament with the industrial sample is performed. The proposed PET plastic filament extruder can significantly increase the economic efficiency of 3D printer.

Keywords: *Arduino Nano microcontroller, 3D printing, extruder, PET plastic*

Введение

3D-печать является разновидностью аддитивного производства, то есть послойное наращивание и синтез объектов, и обычно служит для быстрого прототипирования. Наиболее популярная технология 3D-печати Fused Deposition Modeling (FDM) [1] требует большого количества пластиковой нити. Это связано с тем, что для печати многих изделий необходимы поддержки для нависающих поверхностей. Кроме того, зачастую в процессе 3D-печати могут образовываться бракованные изделия, например, по причине засорения сопла или дефектов в пластмассовой нити.

Поэтому целесообразно разработать и применять специальное устройство – экструдер филамента (filament extruder) [2] – для формирования пластиковой нити из остатков производства или прочих пластиковых изделий. Но подобные технологии зачастую являются достаточно дорогими и с закрытым программным кодом. В связи с этим, актуальным является разработка прототипа и оптимизация параметров экструдера при формировании филамента для 3D-печати из PET-изделий.

Основные положения

Существует множество вариантов реализации подобного устройства. Рассмотрим один из них, который базируется на популярном микроконтроллере Arduino Nano [3] или другом Arduino совместимом контроллере, например, Arduino UNO или ESP32 [4]. Основная особенность таких контроллеров – их низкая цена, а также невысокое энергопотребление. Данный микроконтроллер функционирует на частоте 16 МГц и обладает средним током потребления в 40 мА.

Экструдер состоит из следующих элементов:

1. Контроллер Arduino Nano, который осуществляет управление системой.
2. Драйвер шагового двигателя, который приводит в движение бобину, на которую наматывается пластик.
3. Блок управления, который включает в себя ряд кнопок, с помощью которых можно управлять устройством.
4. LCD-дисплей.
5. Нагревательный элемент.
6. Два подшипника для формирования ленты PET-пластика.
7. Прочие элементы.

Принципиальная схема такого устройства представлена на рисунке 1.

При первом проходе через устройство формируется лента примерно постоянной ширины и толщины. Затем полученная нить продевается через нагревательный элемент и потом повторно наматывается на бобину. В результате получается пластмассовая нить из PET-пластика постоянного диаметра, который для большинства 3D-принтеров должен быть 1,75 мм. Важно отметить, что имеется возможность установить проставки разного размера, что позволяет изменить ширину нарезаемой ленты.

После разработки принципиальной схемы устройства спроектирована печатная плата, на которой будут размещаться все электронные компоненты. Печатная плата является двусторонней. Для проектирования платы использовался бесплатный программный продукт – View Mate Viewer [5]. Управляющие конструкции и коннекторы распо-

лагаются на верхней части платы, а прочие элементы – на нижней. Также это уменьшает вероятность перегрева электронных компонентов.

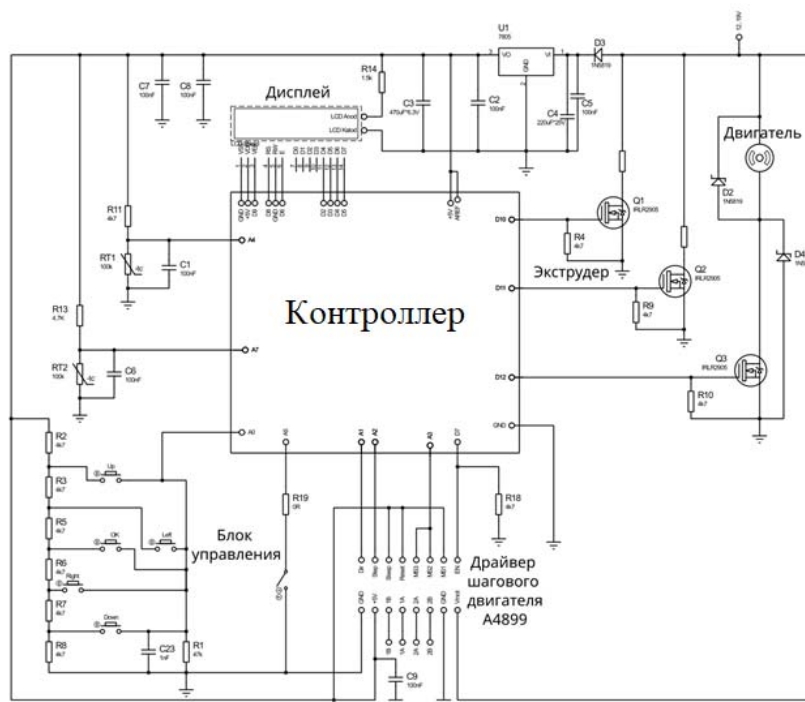


Рис. 1. Принципиальная схема экструдера филамента

Fig. 1. Circuit diagram of the extruder filament

Важными элементами экструдера являются:

- bobина, на которую осуществляется наматывание получаемой нити;
- проставки и поддержки для подшипников, которые осуществляют резание материала.

Для создания 3D-моделей этих элементов использовался отечественный программный продукт – Компас 3D [6, 7], который является системой автоматизированного проектирования. В результате были спроектированы следующие элементы:

- 1) стенки редуктора;
- 2) несколько распорок;
- 3) держатель шагового двигателя;
- 4) ряд шестерней;
- 5) катушка-bobина;
- 6) держатели для подшипников;
- 7) корпус контроллера и элементов управления.

Основные модели представлены на рисунках 2 и 3.

Для 3D-печати использовался слайсер 3D-моделей с открытым исходным кодом – Cura. Основные параметры печати: высота слоя – 0,15 мм; заполнение – 40%; температура печати PLA-пластиком – 200°C.

Для создания прототипа потребовалось разместить все элементы устройства на основании – лист фанеры размером 25×80 см. Также для питания потребовался блок питания на 24 В. Результат представлен на рисунке 4.

Обычно в составе любого 3D-принтера (FDM) имеется hotend (нагревательный элемент), который состоит из следующих элементов:

- сопло, nozzle;
- термобарьер, еще называют nozzleholder, может быть в одном флаконе с радиатором;

– радиатор.

В качестве основного нагревательного элемента экструдера можно использовать только сопло от hotend-a.

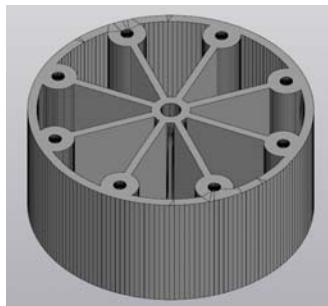


Рис. 2. катушка для намотки нити

Fig. 2. Reel for winding filament

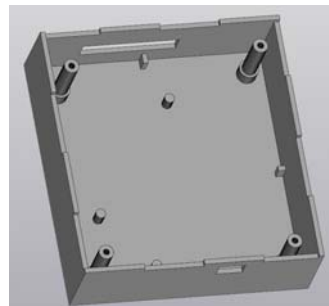


Рис. 3. Корпус контроллера

Fig. 3. Controller case



Рис. 4. катушка для намотки нити

Fig. 4. Reel for winding filament

В процессе функционирования экструдера важным этапом является оптимизация его параметров: температуры, ширины ленты в зависимости от толщины, скорости наматывания ленты и нити на бобину. Рассмотрим эти аспекты подробнее.

В зависимости от типа пластика должна меняться температура нагрева сопла [8] по данным, представленным в таблице 1. В случае неверного выбора температуры нить будет слишком пластичной и будет рваться, поэтому требуется руководствоваться таблицей 1 при выборе оптимальной температуры.

Таблица 1

Зависимость температуры нагрева от типа пластика

Table 1. Temperature characteristics of different plastics

Тип материала	Температура, °C
PET	215–245
PLA	190–230
ABS	210–245
Flex	220–240

Контроллер позволяет задавать температуру вытяжки прутка, что крайне важно при работе с пластиками, отличными от PET. Температура может принимать значения в диапазоне от 1 до 320 градусов. По умолчанию выбрана и выставлена температура 190 градусов. Она не дает сильного запаха при переработке.

Другим важным параметром является зависимость ширины ленты от толщины исходного материала (таблица 2). Для регулирования ширины имеется возможность сменить проставки и таким образом увеличить или уменьшить данный параметр.

В случае неправильной настройки проставок получаемая нить будет или слишком тонкой, или произойдет застревание пластика.

И третьим параметром, который оказывает существенное влияние на получаемый результат, является скорость наматывания ленты, которая зависит от множества трудноформализуемых параметров, а именно: плотности пластика, наличия внутренних дефектов и других параметров. Стандартной скоростью является значение от 2 до 3 мм/с.

Таблица 2

Зависимость ширины ленты от ее толщины

Table 2. Dependence of tape width on its thickness

Толщина, мм	Ширина, мм
0,1	24,05
0,2	12,03
0,3	8,02
0,4	6,01
0,5	4,81
0,6	4,01
0,7	3,44
0,8	3,01
0,9	2,67
1	2,41

Таким образом, приведенные настройки позволяют выбирать оптимальные параметры при использовании экструдера филамента.

После сборки готового прототипа необходимо проверить его работоспособность. Для этого проведем испытания по формированию нити и сравним с промышленным образцом. На рисунке 5 показана макрофотография нарезанной ленты из PET-пластика. А на рисунке 6 представлена сформированная нить.



Рис. 5. Нарезанная ленты из PET-пластика

Fig. 5. Cut PET tapes



Рис. 6. Сформированная нить

Fig. 6. Formed filament

Важно отметить, что на сформированной нити видны внутренние дефекты и полости, что связано с несовершенством устройства (неравномерностью процесса волоочения). На рисунке 7 показана нить от производителя.

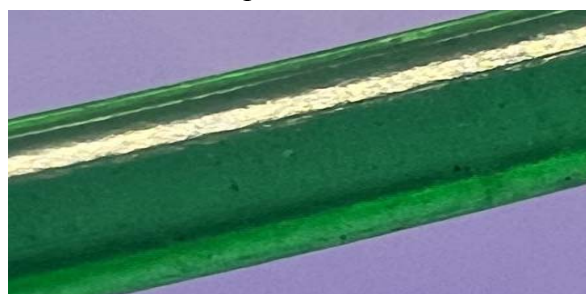


Рис. 7. Нить от производителя

Fig. 7. Filament of the manufacturer

В целом, можно сделать вывод о том, что экструдер позволяет сформировать нить из PET-пластика, однако она обладает рядом незначительных дефектов. Такую нить можно использовать для печати черновых изделий или деталей, к которым не предъявляется высоких требований к точности, а также поддержек при печати.

Заключение

Таким образом, был спроектирован и реализован рабочий прототип экструдера филамента, с помощью которого проведен ряд экспериментов, которые позволили установить оптимальные параметры функционирования устройства при работе с PET-пластиком. Оптимальная температура нагрева сопла составила около 190°C, скорость наматывания нити – от 2 до 3 мм/с.

Выполнено сравнение полученной нити с промышленным образцом. Установлено, что выявленные незначительные дефекты не оказывают значительного влияния на качество получаемых изделий.

Предлагаемая конструкция экструдера предполагает возможность модернизации, например, удаленное управление устройством, внедрение датчика обрыва нити и электронного микрометра. Еще одним перспективным направлением исследований является создание филамента, состоящего из смеси пластиков, что позволит объединить их преимущества при 3D-печати.

Таким образом, предлагаемый экструдер филамента из PET-пластика позволяет значительно повысить экономическую эффективность 3D-принтера за счет переработки других PET-изделий.

Примечания

1. Characterization of the Mechanical Properties of FFF Structures and Materials: A Review on the Experimental, Computational and Theoretical Approaches / E. Cuan-Urquizo, E. Barocio, V. Tejada-Ortigoza [et al.] // MDPI Journals. 2019. No. 12, Iss. 6. P. 2–25. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12060895>
2. Ralchev M., Mateev V., Marinova I. Thermal Control of Filament Supply in FFF/FDM 3D Printing Technology // 2021. 31st International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). Sozopol, 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610898
3. Arduino Nano Product Reference Manual. URL: <https://docs.arduino.cc/static/70488a44662b48155f3def728bcf6454/A000005-datasheet.pdf> (дата обращения: 15.04.2023).
4. Теплоухов С.В., Кузьмин К.А., Седой К.В. Особенности реализации автономной метеостанции на базе микроконтроллера ESP32 // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2022. Вып. 2 (301). С. 78–83. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
5. ViewMate Gerber Viewer. URL: <https://www.pentalogix.com/> (дата обращения: 15.04.2023).
6. КОМПАС-3D. URL: <https://kompas.ru/> (дата обращения: 15.04.2023).
7. Герасимов А.А. Самоучитель. КОМПАС-3D V19 // Автоматизация работы в КОМПАС График. СПб.: БХВ, 2021. 624 с.
8. Speight J.G., Lange A.N. Lange's handbook of chemistry. 16 edition // McGraw-Hill, 2005. 1000 p.

References

1. Characterization of the Mechanical Properties of FFF Structures and Materials: A Review on the Experimental, Computational and Theoretical Approaches / E. Cuan-Urquizo, E. Barocio, V. Tejada-Ortigoza [et al.] // MDPI Journals. 2019. No. 12, Iss. 6. P. 2–25. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12060895>
2. Ralchev M., Mateev V., Marinova I. Thermal Control of Filament Supply in FFF/FDM 3D

Printing Technology // 2021. 31st International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). Sozopol, 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610898

3. Arduino Nano Product Reference Manual. URL:

<https://docs.arduino.cc/static/70488a44662b48155f3def728bcf6454/A000005-datasheet.pdf> (дата обращения: 15.04.2023).

4. Teploukhov S.V., Kuzmin K.A., Sedoy K.V. Features of the implementation of an autonomous weather station based on the ESP32 microcontroller // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2022. Iss. 2 (301). P. 78–83. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

5. ViewMate Gerber Viewer. URL: <https://www.pentalogix.com/> (access date: 15.04.2023).

6. КОМПАС-3D. URL: <https://kompas.ru/> (access date: 15.04.2023).

7. Gerasimov A.A. A Tutorial. КОМПАС-3D V19 // Work Automation in the КОМПАС-Graphic. SPb.: BKhV, 2021. 624 p.

8. Speight J.G., Lange A.N. Lange's handbook of chemistry. 16 edition // McGraw-Hill, 2005. 1000 p.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.04.2023; одобрена после рецензирования 19.05.2023; принята к публикации 20.05.2023.

The article was submitted 20.04.2023; approved after reviewing 19.05.2023; accepted for publication 20.05.2023.

© С.В. Теплоухов, В.Б. Тимаков, К.В. Седой, 2023