

**Управление образования города Пензы**  
**Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Лицей №55»**

**г. Пензы**

**Научно-практическая конференция школьников**

**города Пенза «Высший пилотаж»**

**Проект**

**«Устройство и принцип работы шагового двигателя»**

***Выполнил:***

***ученик 10 класса***

***Власов Михаил***

***Руководитель:***

***Волкова Елена Михайловна***

**г.Пенза, 2023**

## Содержание

1. Введение.....	3
2. Теоретическая часть .....	3
2.1 Магнитное поле.....	3
2.2 Вектор магнитной индукции.....	4
2.3 Закон Ампера.....	7
2.4 Классификация	
2.5 Шаговый двигатель	
3.Практическая часть.....	7
3.1 Создание двигателя	
3.2 Подключение и управление двигателем.....	9
3.3 Экономическая часть .....	9
5. Заключение .....	9
6. Приложение .....	11
7. Информационные источники .....	16

## 1. Введение

### Актуальность

В современном мире очень распространён машинный труд. Большинство ручной работы заменено на автоматизированные станки. Интересно разобраться, что лежит в основе таких станков и помогает им совершать настолько точные движения. Современным школьникам очень важно понимать, как работают различные высокоточные станки и роботы. Это поможет в будущем создавать более технологичное оборудование.

Я решил создать макет шагового двигателя, который может быть полезен ученикам для уроков физики. На примере этого макета можно подробнее и наглядно понять о действие магнитного поля.

**Объект исследования:** Шаговый двигатель

**Цель проекта:**

-Создание макета шагового двигателя и изучение принципа его действия.

**Задачи:**

- изучить классификацию современных двигателей;
- изучение принципа действия шагового двигателя;
- выявление областей их применения;
- создание макета шагового двигателя.

## 2. Теоретическая часть

### 2.1 Магнитное поле

– это особый вид материи, возникающий вокруг проводника с током (движущихся зарядов) и действующий на другие токи.[1],

Для изучения магнитного поля используют контур с током.

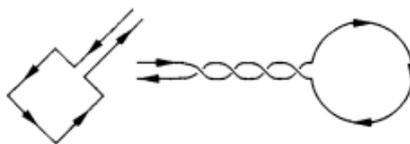


Рисунок 2.1 Контур с током.

Величина, характеризующая магнитное поле называется вектором магнитной индукции.

**Линии магнитной индукции** – линии, касательные к которым направлены так же, как и вектор  $\vec{B}$  в данной точке пространства[1]

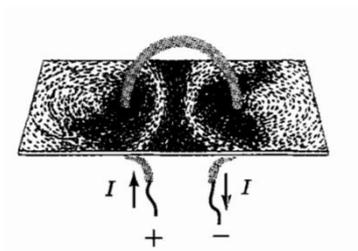


Рисунок 2.2 Картина магнитного поля контура с током

Магнитное поле характеризуется магнитной индукцией  $B$ .

## 2.2 Вектор магнитной индукции.

Вектор магнитной индукции - это векторная величина, характеризующая магнитное поле ( $\vec{B}$ ).[1]

### Направление вектора магнитной индукции

За направление вектора магнитной индукции в том месте, где расположена рамка с током, принимают направление положительной нормали  $\vec{n}$  (перпендикуляра) к рамке. Положительная нормаль направлена в сторону поступательного движения буравчика с правой нарезкой, если вращать рукоятку по направлению тока в рамке. [1]

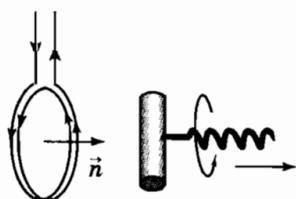


Рисунок 2.3 Определение вектора магнитной индукции

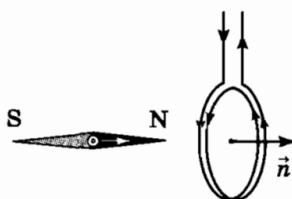


Рисунок 2.4 Поведение магнитной стрелки в контуре с током

На контур с током со стороны однородного магнитного поля действует момент сил, поворачивающий рамку.

Экспериментальным путем выяснено, что момент сил зависит не только от магнитного поля, но и от площади, расположения и силы тока в рамке. [1]

Модулем магнитной индукции называется величина, пропорциональная отношению максимального момента сил, действующего на рамку, к произведению силы тока в ней на её площадь:

$$B = k \frac{M_{max}}{IS}$$

Где  $B$  – магнитная индукция,  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц.

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

За единицу измерения магнитной индукции принята 1 Тесла.

$$[\vec{B}] = \text{Тл (тесла)}.$$

Линии магнитной индукции – линии, касательные к которым направлены так же, как и вектор  $\vec{B}$  в данной точке пространства. [1]

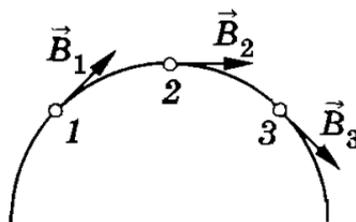


Рисунок 2.5 Картина линий магнитной индукции

### Принцип суперпозиции

если в данной точке пространства различные точки создают магнитные поля, магнитные индукции которых различны, то результирующая магнитная индукция в этой точке равна:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots [1]$$

### Закон Био–Савара–Лапласа

Магнитное поле любого тока может быть вычислено как векторная сумма (суперпозиция) полей, создаваемых отдельными элементарными участками тока. [1]

$$\Delta B = \frac{I \Delta l \sin \alpha}{r^2}$$

В векторной форме:

$$\Delta \vec{B} = \frac{I \Delta \vec{l} \vec{r}}{r^3}$$

Модуль магнитной индукции

$$\Delta B = \frac{I \Delta l r \sin \alpha}{r^3} = \frac{I \Delta l \sin \alpha}{r^2}$$

### Явление электромагнитной индукции

Величину, численно равную работе сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда вдоль замкнутого контура, называют Электродвижущей силой (ЭДС).

При изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, в контуре появляются сторонние силы, действие которых характеризует ЭДС, называемая ЭДС индукции ( $\mathcal{E}$ ).

ЭДС индукции в замкнутом контуре равна по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\mathcal{E}_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$$

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Знак «-» отражает правило Ленца. [2]

### Правило Ленца

Возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. [1]

**Магнитным потоком**  $\Phi$  (потоком вектора магнитной индукции) через поверхность площадью  $S$  называют величину, равную произведению модуля вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  на площадь  $S$  и косинус угла  $\alpha$  между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{n}$ : [1]

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

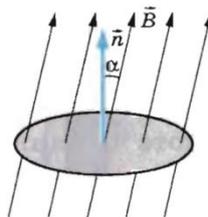


Рисунок 2.6 Поток магнитной индукции сквозь произвольный контур

**Единичный элемент тока** – проводник длиной 1 м и силой тока в нем 1 А.

Магнитная индукция зависит от силы Ампера. [2]

### 2.3 Закон Ампера

Закон Ампера используется для расчета сил, действующих на проводнике с током, во многих технических устройствах, в частности в электродвигателях. Действие всех электродвигателей основано на использовании силы Ампера. По обмотки вращающиеся части двигателя якоря (3) протекает электрический ток. Мощные электромагниты создают в магнитное поле, которое действует на проводнике с током в обмотке якоря и заставляет их двигаться. Якорь изготавливается из стальных пластин, а полюсам электромагнита придается специальная форма, с тем чтобы сконцентрировать магнитное поле в местах, где располагается обмотка ротора. Специальное устройство коллектор (1) и щетки (2) обеспечивают такое направление тока в обмотках, чтобы магнитное взаимодействие создавало момент, приводящие к непрерывному вращению якоря. [1]

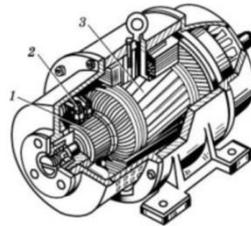


Рисунок 2.7 Структура двигателя постоянного тока

### 2.4.Классификация электродвигателей

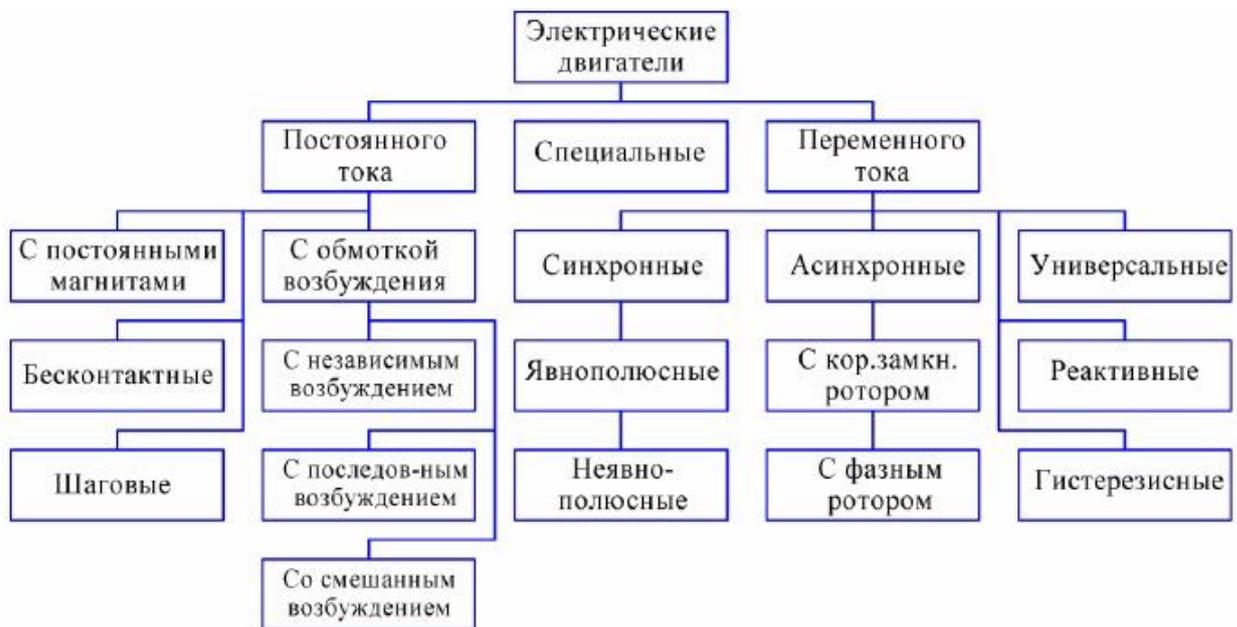
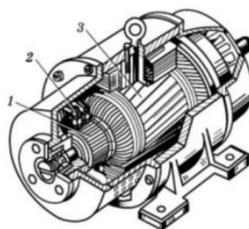


Рисунок 2.8 Классификация электродвигателей[3]

Действие всех электродвигателей основано на использовании силы Ампера. По обмотки вращающиеся части двигателя якоря (3) протекает электрический ток. Мощные электромагниты создают в магнитное поле, которое действует на проводнике с током в обмотке якоря и заставляет их двигаться. Якорь изготавливается из стальных пластин, а полюсам электромагнита придается специальная форма, с тем чтобы сконцентрировать магнитное поле в местах, где располагается обмотка ротора. Специальное устройство коллектор (1) и щетки (2) обеспечивают такое направление тока в обмотках, чтобы магнитное взаимодействие создавало момент, приводящие к непрерывному вращению якоря.[1]



*Рисунок 2.9 макет простейшего электродвигателя*

Шаговый двигатель является одним из самых распространенных двигателей

**Шаговый двигатель** – электромотор, где импульсное питание током приводит к перемещению роторной части на заданный угол. Шаговые двигатели чаще используются при производстве станков, требующих высокой точности (Станки ЧПУ).[3]

### **3.1 Шаговый двигатель с переменным магнитным сопротивлением**

Такой двигатель состоит из двух основных частей – статор и ротор.

В данном образце (рис. 4) на статоре находится 6 зубьев с обмоткой, а на роторе количество зубьев отличается. Это сделано чтобы только одна пара зубьев ротора была направлена к зубьям статора.

Ротор приводится в движение поочередной подачей тока на зубья с обмоткой. При этом противоположные зубья статора становятся разными полюсами электромагнита и начинают притягивать ротора (рис. 5). При таком действии мы получаем шаг в  $30^\circ$ .

**Режим дробления шага** – режим работы, позволяющий увеличить точность движений такого двигателя. В таком случае запитываются две соседних обмотки, в результате чего ротор поворачивается на  $15^\circ$  (рис.6).

Чтобы сделать второй шаг необходимо обесточить одну обмотку, после чего ротор повернется еще на  $15^\circ$  (рис.7) [3]

## 4. Практическая часть

Для изготовления мы взяли шаговый двигатель с переменным сопротивлением так как он более прост в изготовлении и на его примере можно будет проще понять принцип работы.

### 4.1 Создание двигателя

Мы решили начать с изготовления ротора (подвижной части). Выполнили его 3D модель в программе T-Flex (рис. 11) и разместили для печати на принтере MZ3D (рис.12). Ротор представлял собой цилиндрический вал, в котором расположены магниты. Вокруг магнитов расположили соленоиды, создающие магнитное поле и вращающие статор.

Изначально статор решили сделать из того же материала, но в процессе сборки было принято решение заменить пластик на фанеру (рис. 13).

### 4.2 Подключение и управление двигателем

После сборки самого шагового двигателя необходимо было заставить его работать. Для этого нашли в интернете схему подключения обычных двигателей к плате Arduino (рис.6.8), и подключили все компоненты по этой схеме (рис. 6.9) [7]. Плата Arduino и драйвер в этой схеме необходимы для контролирования поочередной подачи тока на разные соленоиды.

После подключения к сети наш двигатель заработал.

## 3.3 Экономическая часть

При изготовлении шагового двигателя мне понадобились материалы и устройства, представленные в таблице 3.1. Изготовление шагового двигателя мне обошлось в 4432 рубля.

Наименование	Цена	Количество	Итого
Пластик	2000 руб./кг	20 гр.	40 руб.
Фанера	350 руб./м <sup>2</sup>	32 см <sup>2</sup>	1,5 руб.
Неодимовый магнит	60 руб.	6	360 руб.
Подшипник	45 руб.	2	90 руб.
Блок питания	1800 руб.	1	1800 руб.
ArduinoUNO	1000 руб.	1	1000 руб.
Драйвер L298N	600 руб.	1	600 руб.
Соленоид	360 руб.	4	1440 руб.
ИТОГ			4432 руб.

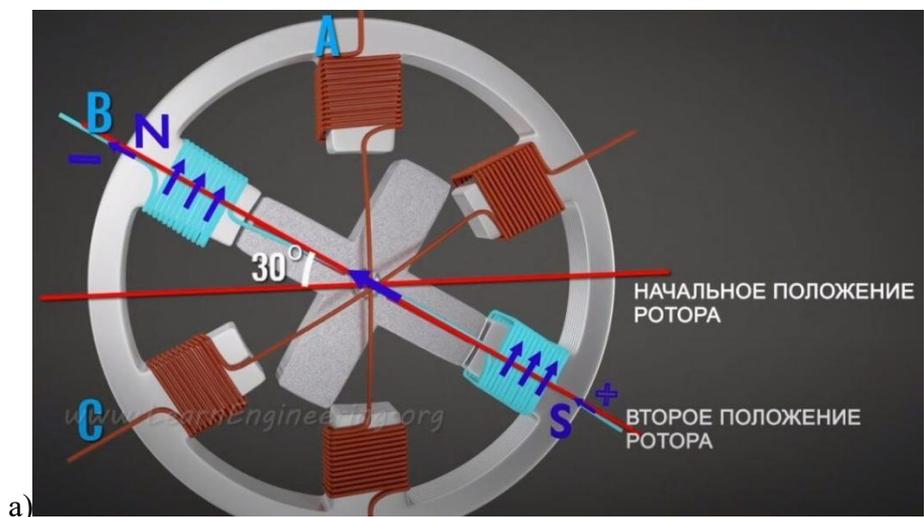
Таблица 4.1 Расчет стоимости шагового двигателя.

## **5. Заключение**

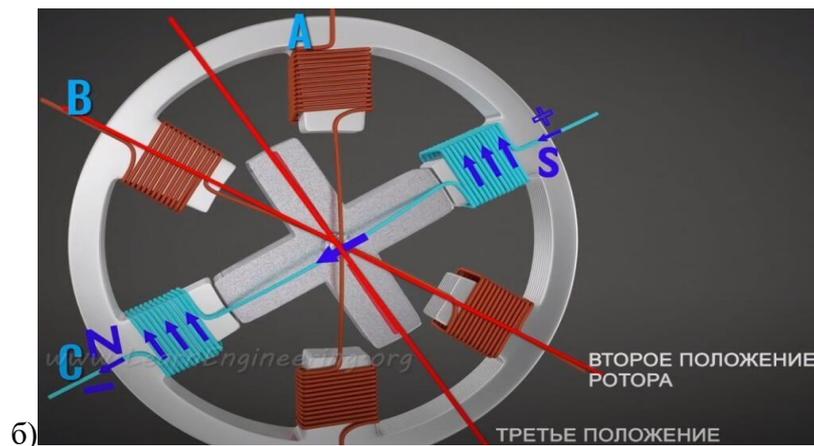
Цель проекта была достигнута, мне удалось создать собственный шаговый двигатель и понять принцип его работы. Этот макет может применяться на уроках физики при изучении магнитных явлений. Узнали, почему именно шаговые двигатели используются в высокоточных станках. Несмотря на сложность конструкции и принцип работы, создание собственного макета шагового двигателя возможно.



Рисунок 6.1. Ротор и статор двигателя с переменным магнитным сопротивлением.[3]



a)



б)

Рисунок 6.2 Этапы поворота ротора на один шаг.[3]

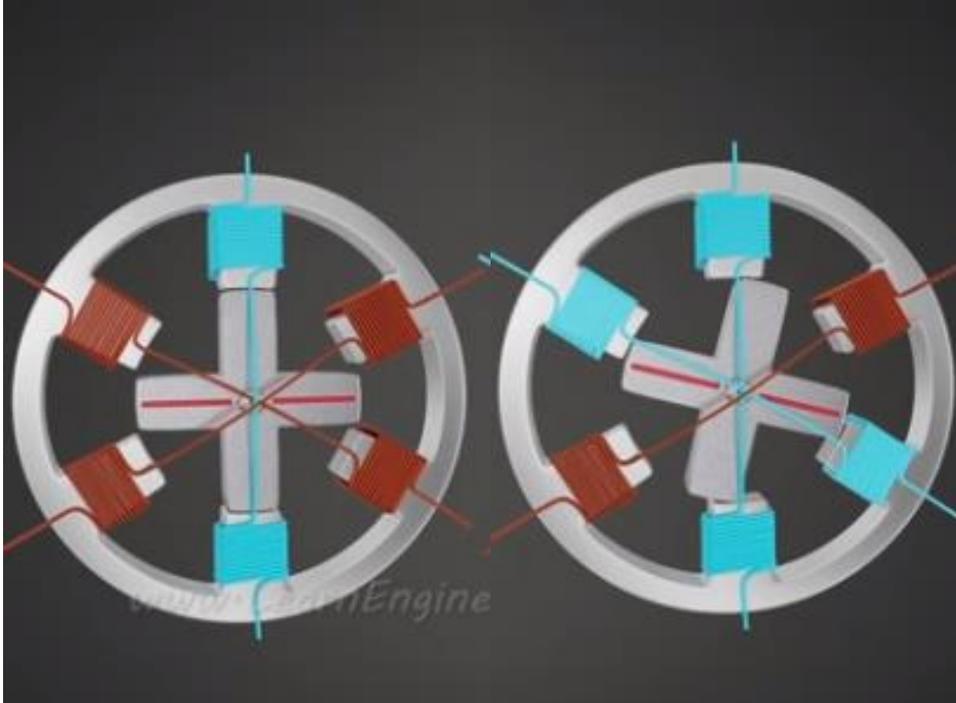


Рисунок 6.3 Первый шаг режима дробленого шага.[3]

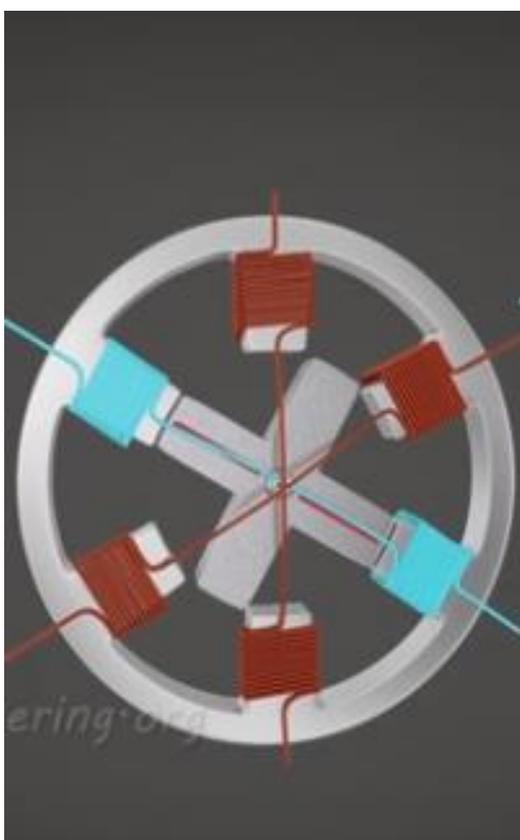


Рисунок 6.4 Второй шаг в режиме дробленого шага. Обесточивание одной обмотки.[3]

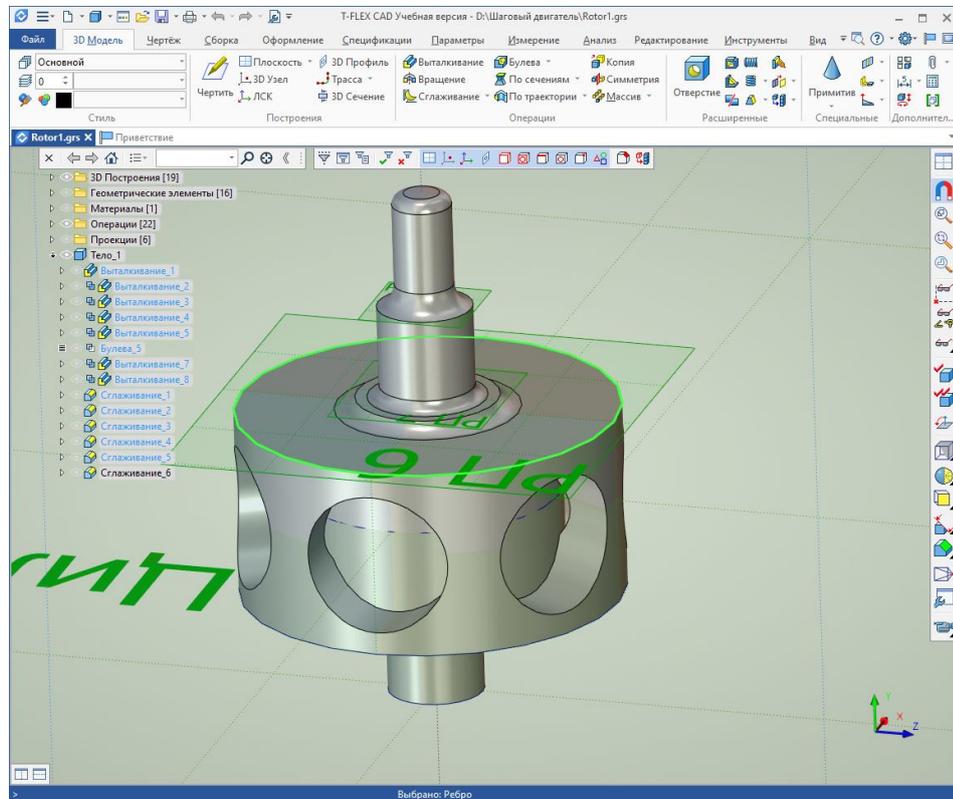


Рисунок 6.5 Чертеж ротора в программе T-Flex.

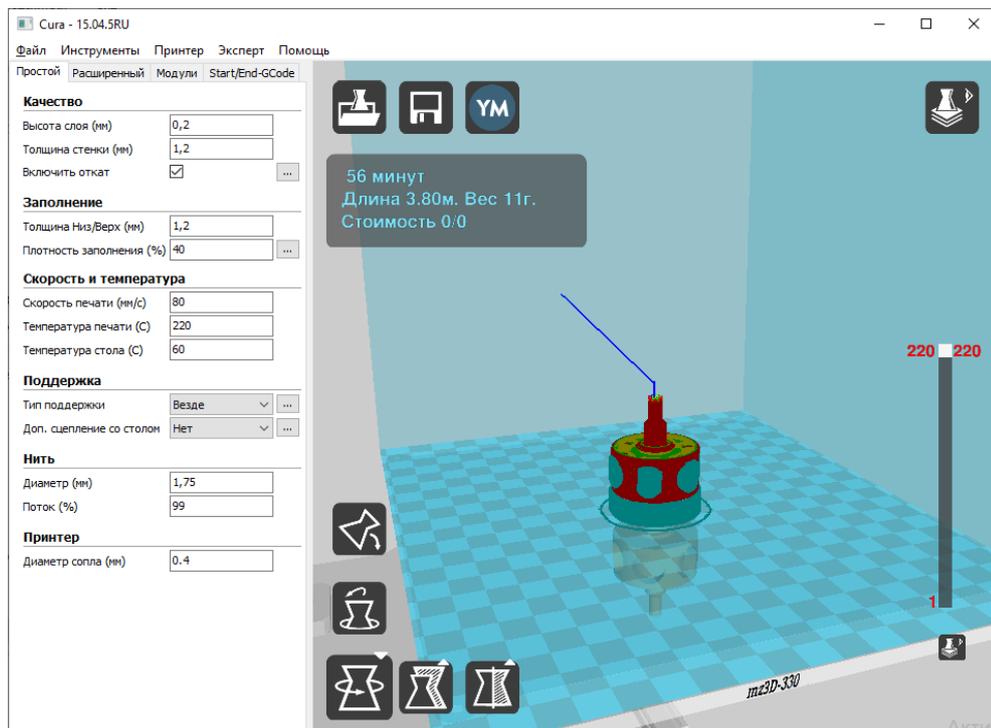
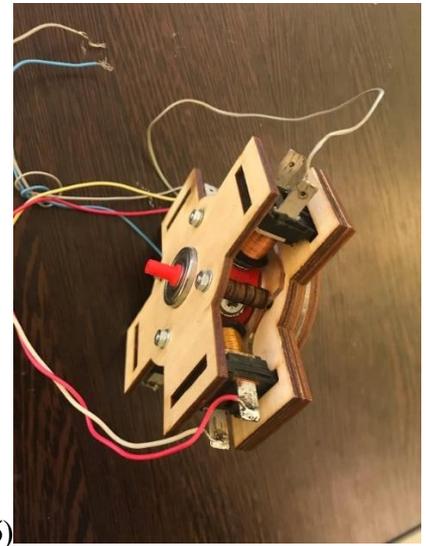


Рисунок 6.6 Подготовка чертежа ротора к печати на 3Dпринтере.



a)

Вариант с пластиковым статором



б)

Фанерный корпус

Рисунок 6.7

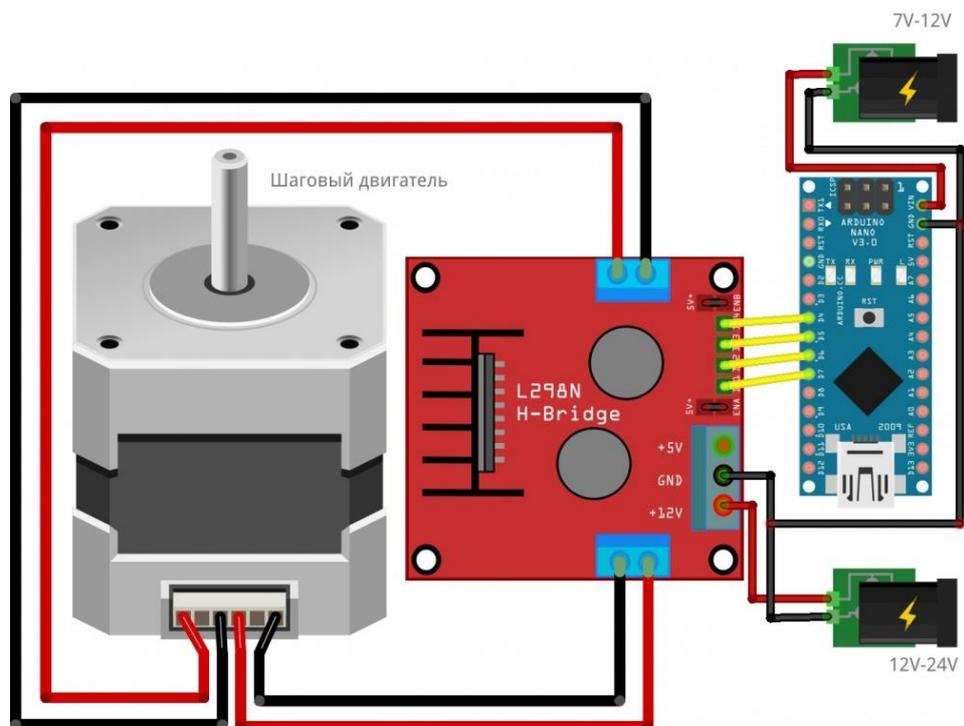
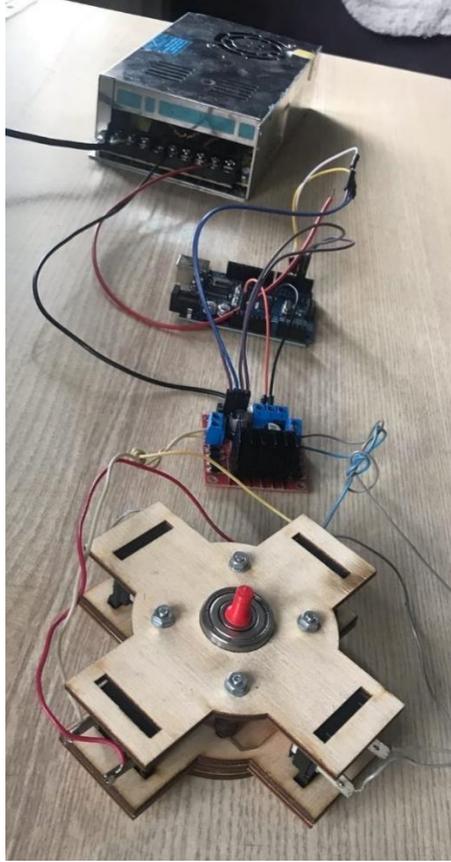


Рисунок 6.8 Схема подключения к драйверу и плате Arduino. [7]



*Рисунок 6.9* Подключение компонентов по схеме.

## 7. Информационные источники

1. Мякишев Г. Я. Физика: Электродинамика: 10 -11 класс : учебник/Г.Я. Мякишев, А.З. Сияков. -9-е издание, стереотип.- М.: Дрофа, 2020. – 510, ил.
2. Физика. 11 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профильный уровни/ Г.Я.Мякишев, Б.Б.Буховцев, В. М.Чаругин; под ред. В. И.Николаева, Н.А. Парфентьевой. —19-е изд. – М.: Просвещение, 2010. – 399с., [4] л. ил.
3. <https://yarllo.ru/theory>
4. <https://infourok.ru>
5. <https://resh.edu.ru/subject/lesson/3806/conspect/46747>
6. [https://www.youtube.com/watch?v=r\\_V8vIuEPws](https://www.youtube.com/watch?v=r_V8vIuEPws)
7. <https://3d-diy.ru>

## Рецензия

на работу ученика 10 класса МБОУ «Лицей №55» г. Пензы

Власова Михаила «Устройство и принцип работы шагового двигателя»

В представленной работе приведены теоретические принципы функционирования электродвигателей и шаговых двигателей, в частности. Актуальность работы определена тем, что в основе функционирования современных станков с числовым программным управлением лежит использование шаговых двигателей и представленная работа позволяет понять школьникам принципы их работы.

Автором самостоятельно изготовлен действующий макет шагового двигателя с использованием 3D – моделирования и 3D – печати, выполнено подключение к плате управления.

Материал изложен грамотно и логично, структура работы полностью соответствует требованиям. Заключение обобщает изложенный материал и подводит логический итог выполненной работе.

Результатом проведенной работы является изготовление действующего макета шагового двигателя. Автор расширил знания о магнитном поле.

В процессе выполнения работы Власов Михаил продемонстрировал самостоятельность, хорошие навыки технического моделирования и прототипирования технических объектов, программирования микроконтроллеров Arduino.

Достоинством исследования являются его наглядность, логичность, четкая взаимосвязь между частями, конкретность и детальная разработанность предложенного материала

Рекомендую работу «Устройство и принцип работы шагового двигателя» для представления на научно-практической конференции.

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Эксплуатация автомобильного транспорта»  
ПГУАС

  
Шаманов Р.С.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Согласование участия в открытом региональном конкурсе исследовательских и проектных работ школьников «Высший пилотаж - Пенза» 2023.

В оргкомитет конкурса исследовательских и проектных работ школьников «Высший пилотаж - Пенза» 2023

Для участия в открытом региональном конкурсе исследовательских и проектных работ школьников «Высший пилотаж - Пенза» 2023 от образовательной организации

направляется работа на тему: Исследование и приемки работы малового двигателя

секция \_\_\_\_\_

Автор(авторы) работы:

Висков Михаил

Научное руководство:

Василова Елена Михайловна

Директор ОО

Красноярская  
