

Муниципальное автономное образовательное учреждение  
дополнительного образования  
«Центр детского творчества»  
Серовский городской округ

**Исследовательская работа**

**«РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ПРИБОРА  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА»**

Исполнитель:  
Халявина Полина Дмитриевна

Руководитель:  
Ракитина Светлана Юрьевна

Время выполнения исследовательской работы – с октября 2020 г.

Серов 2020

## АНЕМОМЕТР

Анемометр - прибор для измерения скорости движения воздуха, например, вентиляции. В метеорологии применяется для измерения скорости ветра.

По принципу действия различают:

**Механические анемометры** бывают чашечного (Рис. 1) или крыльчатого типа (Рис. 2)



Рис. 1



Рис. 2

Работа вертикально установленного чашечного анемометра не зависит от направления ветра; крыльчатый анемометр необходимо четко ориентировать осью по направлению ветра.

**Тепловой анемометр** (рис. 3).

Принцип действия его основан на измерении снижения температуры нагретого тела. Термоэлементом служит обычно накаливаемая проволока, при пропускании через неё электрического тока. При обдуве ветром её нагрев меняется в зависимости от силы ветра



Рис. 3

В приборе использовано свойство изменения сопротивления ( $R$ ) термоэлемента в зависимости от нагрева.

Если на термоэлемент подать фиксированное напряжение, то по закону Ома, ток равен отношению напряжения ( $U$ ) к сопротивлению ( $R$ )

$$I = \frac{U}{R}$$

Поскольку в формуле от температуры, а, следовательно, от силы ветра меняется ( $R$ ), то при  $U = const$  меняется и ток ( $I$ ). Электронике прибора остаётся только измерить ток, определить текущее сопротивление, а, следовательно, и силу ветра.

#### **Ультразвуковой анемометр** (рис. 4)

Принцип действия основан на измерении скорости звука в воздухе в зависимости от движения его.

Навстречу ветру скорость звука ниже, чем в неподвижном воздухе, по ветру — наоборот, выше. То есть в первом случае скорость ветра вычитается из скорости звука, а во втором случае скорость ветра складывается со скоростью звука.

**Цель:** проанализировать возможность создания анемометра из подручных, бросовых материалов с минимальными затратами, сконструировать механический анемометр, сконструировать механический анемометр

#### **Задачи:**

- изучить принцип измерения неэлектрических величин путём преобразования в зависимую от нее электрическую величину;
- изучить принцип работы машины постоянного тока с постоянными магнитами в режиме генератора, проанализировать возможность её использования в качестве преобразователя скорости вращения в электрическую величину – напряжение;
- сконструировать анемометр из подручных материалов;
- разработать простейшую электронную схему для передачи получаемого напряжения в микроконтроллер *Arduino* с целью последующей обработки
- в среде IDE написать скетч;
- откалибровать анемометр – опытным путём получить график зависимости напряжения от скорости ветра;
- доработать скетч путём уточнения коэффициентов, или формулы связи между напряжением и скоростью ветра



Рис. 4

## УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОГО АНЕМОМЕТРА

В качестве датчика, преобразующего скорость вращения чашечкового анемометра, используем микродвигатель от сломанного игрушечного вентилятора (Рис. 5).

Микродвигатель – это машина постоянного тока в которой магнитное поле создаётся постоянными магнитами. В данной конструкции машина постоянного тока будет работать в режиме генератора

В конструкции любого генератора реализуется принцип электромагнитной индукции



Рис. 5

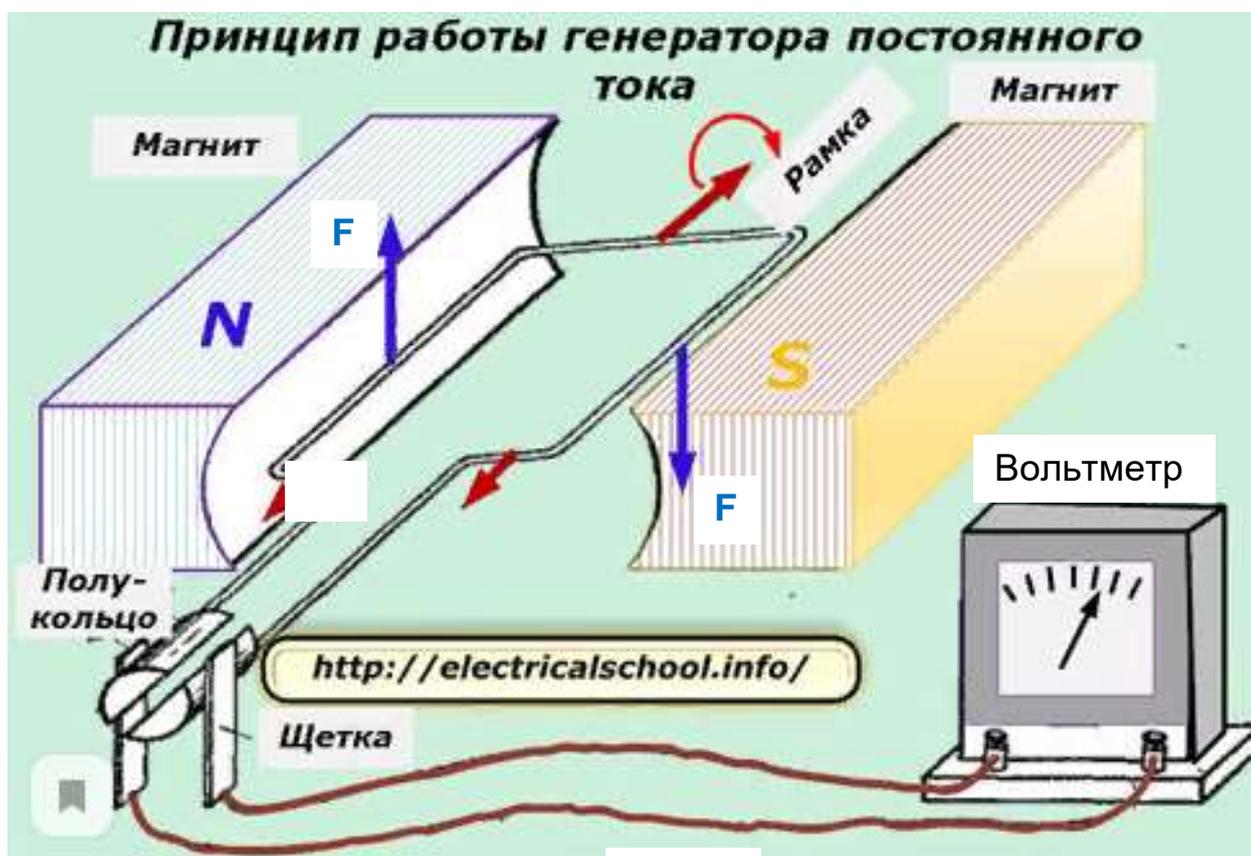


Рис. 6

Если проводник движется в магнитном поле под действием механической силы (вал генератора вращается под действием силы ветра), то в нём наводится ЭДС - электродвижущая сила, следовательно, на концах проводника появится напряжение ( $U$ ) (Рис. 6). Величина напряжения ( $U$ ) прямо пропорциональна скорости вращения рамки (или вала генератора в нашем случае).

Теперь необходимо отыскать связь между ЭДС, скоростью вращения вала датчика (генератора) и силой ветра.

На этапе разработки ЭДС будем измерять мультиметром в режиме милливольтметра (Рис. 7).



Рис. 7

Винт с чашечковым механизмом анемометра (Рис. 8) сконструировали из подручных материалов. Кроме генератора были использованы:

- остаток полипропиленовой сантехнической трубы;
- бамбуковые шпажки – 3шт;
- пластиковая упаковка от куриных яиц – 1шт. (изготовили 3 чашечки);
- крышечка от шампуня;
- термоклей.



Рис. 8

При вращении механизма (Рис. 8), на выводах генератора будем снимать напряжение, пропорциональное скорости вращения

Для калибровки устройства - установления связи между напряжением на выводах генератора и скоростью ветра мы провели необычный эксперимент. Поскольку в нашем распоряжении нет эталонного прибора, который бы с высокой точностью измерял скорость ветра, то мы скорость ветра сопоставили со скоростью движения автомобиля.

Условия и оборудование эксперимента:

- безветренная погода;
- автомобиль с GPS навигатором для точного измерения скорости движения, следовательно, и скорости ветра;
- эксперимент проводился за пределами дорог общего пользования;
- границы измерения: 40 - 80 км/ч, скорость движения автомобиля выбрана высокая, для минимизации влияния погодной скорости ветра.

Результаты эксперимента приведены в таблице

Скорость $v$ км/ч	Скорость $v$ м/с	Напряжение (В)
40	11,11	1,1
50	13,89	1,4
60	16,67	1,7
70	19,44	2,0
80	22,22	2,3

Скорость км/ч в скорость м/с переводим по формуле:

$$v_{\text{м/с}} = \frac{v_{\text{км/ч}} \cdot 1000}{3600}$$

В *MathCAD 14 pro.* строим график:

На рис. 9 приведён *Print Screen MathCAD-* документа.

В ходе эксперимента получили зависимость напряжения от скорости ветра близкой к линейной.

Найдём коэффициент линейной функции:

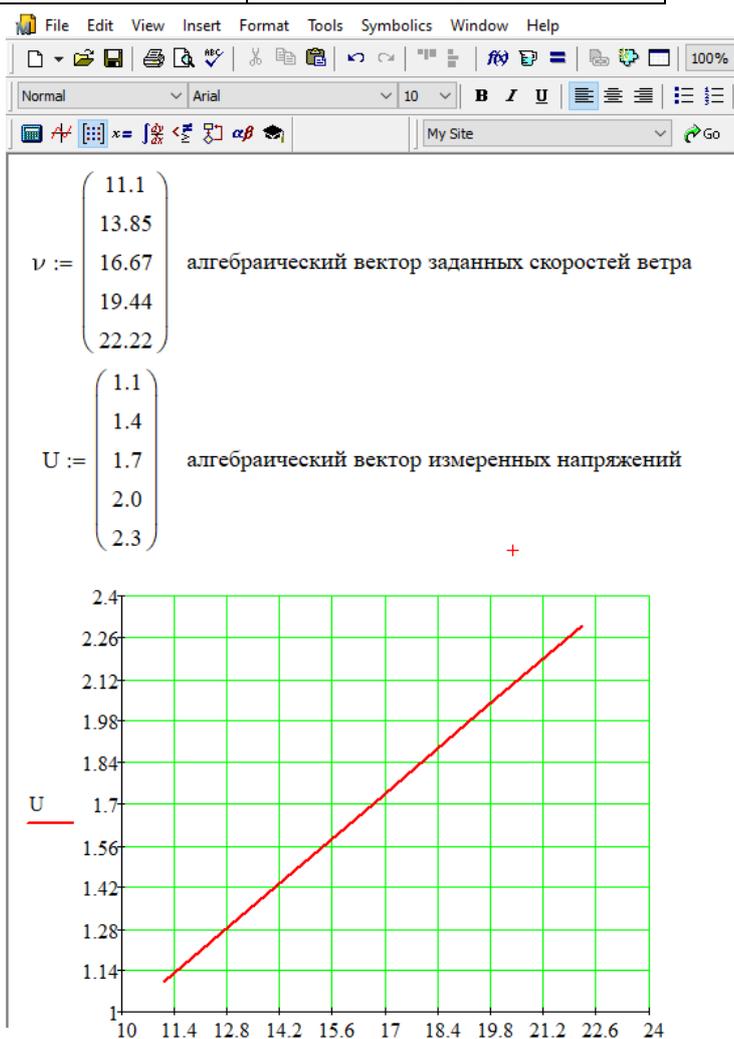


Рис. 9

$$\frac{\frac{1.1}{11.1} + \frac{1.4}{13.85} + \frac{1.7}{16.67} + \frac{2.0}{19.44} + \frac{2.3}{22.22}}{5} = 0.102$$

Запишем алгебраическую форму линейной функции:

$$U(v) = v \cdot 0.102.$$

В *MathCAD* наложим 2 графика:

- построенный по опытным точкам;
- построенный по линейной алгебраической функции, которая экстраполирует опытную выборку в обе стороны (рис. 10)

алгебраический вектор  
измеренных напряжений

$$U := \begin{pmatrix} 1.1 \\ 1.4 \\ 1.7 \\ 2.0 \\ 2.3 \end{pmatrix}$$

$$u(\gamma) := \gamma \cdot 0.102$$

$$\gamma := 0..34$$

экстраполирующая линейная  
функция

алгебраический вектор заданных  
скоростей ветра

$$v := \begin{pmatrix} 11.1 \\ 13.85 \\ 16.67 \\ 19.44 \\ 22.22 \end{pmatrix}$$

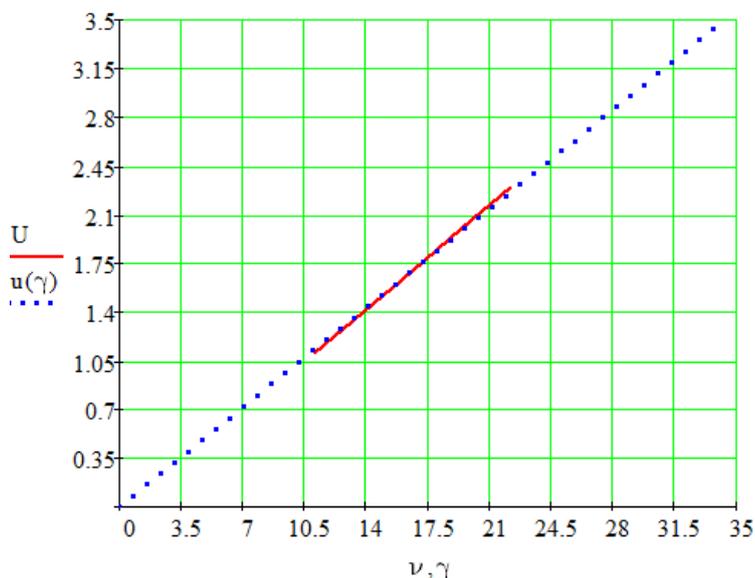


Рис. 10

Определим верхний предел измерения анемометра.

Поскольку номинальное напряжение микродвигателя было 3 В (игрушка – вентилятор работала на 2-х батарейках по 1,5В соединённых

последовательно, т.е.  $1,5+1,5 = 3В$ ), то и в режиме генератора максимальное рабочее напряжение будет 3В.

$$v_{\max} = 3/0.102$$

$v_{\max} = 29.4$  м/с – максимальная скорость ветра, при которой измерения будут точными.

В простейшем случае можно взять стрелочный вольтметр с пределами измерения 3-4 В и проградуировать шкалу вольтметра в м/с с переводным коэффициентом равным:

$$k = \frac{29,4}{3} = 9,8$$

Стрелочный прибор для измерения скорости ветра приведён на рис. 10

То есть скорость ветра 9,8 м/с будет соответствовать напряжению  $U = 1 В$ .

Мы этот способ не стали реализовывать по 2-м причинам:

1. У нас нет стрелочного прибора, а цифровой невозможно проградуировать (нет шкалы).
2. Низкая информативность показания такого прибора – трудно фиксировать промежуточные значения между целыми числами.

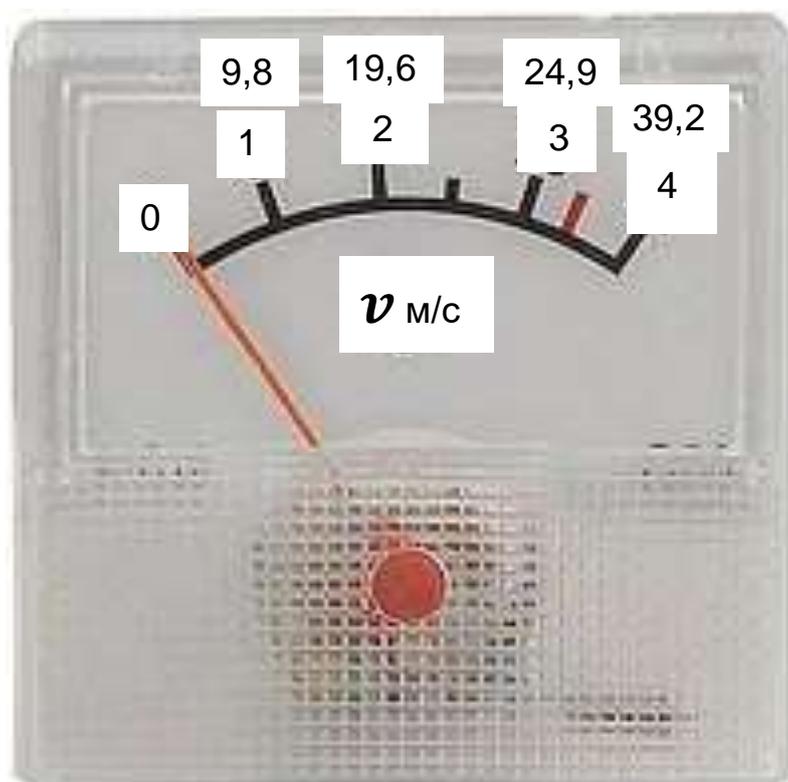


Рис. 11

Учитывая вышеизложенное, мы изобрели цифровой прибор для измерения скорости ветра на базе микроконтроллера "Arduino". По своей сути это будет цифровой вольтметр, прокалиброванный в «скетче» на величину ( $v$  м/с)

Поскольку наш датчик (генератор) имеет рабочее напряжение 3В, то пересчитаем сколько бит будет соответствовать напряжению  $U = 3В$ .

$$1024 - 5В$$

$$x - 3В$$

$$x = \frac{1024 \cdot 3}{5} = 614 \text{ бит}$$

Ранее мы подсчитали, что  $v_{\max} = 29.4$  м/с соответствует  $U = 3В$ , следовательно, скорости ветра 29,4 м/с соответствует 614 бит.

Найдём переводной коэффициент для перевода значения цифрового сигнала в величину скорости ветра  $v$  (м/с)

$$a = 614/29,4 = 20,9$$

Ограничение точности измерения скорости ветра по аппаратной и программной части будет равна  $29,4/614 = 0,05$  м/с

Собираем схему:

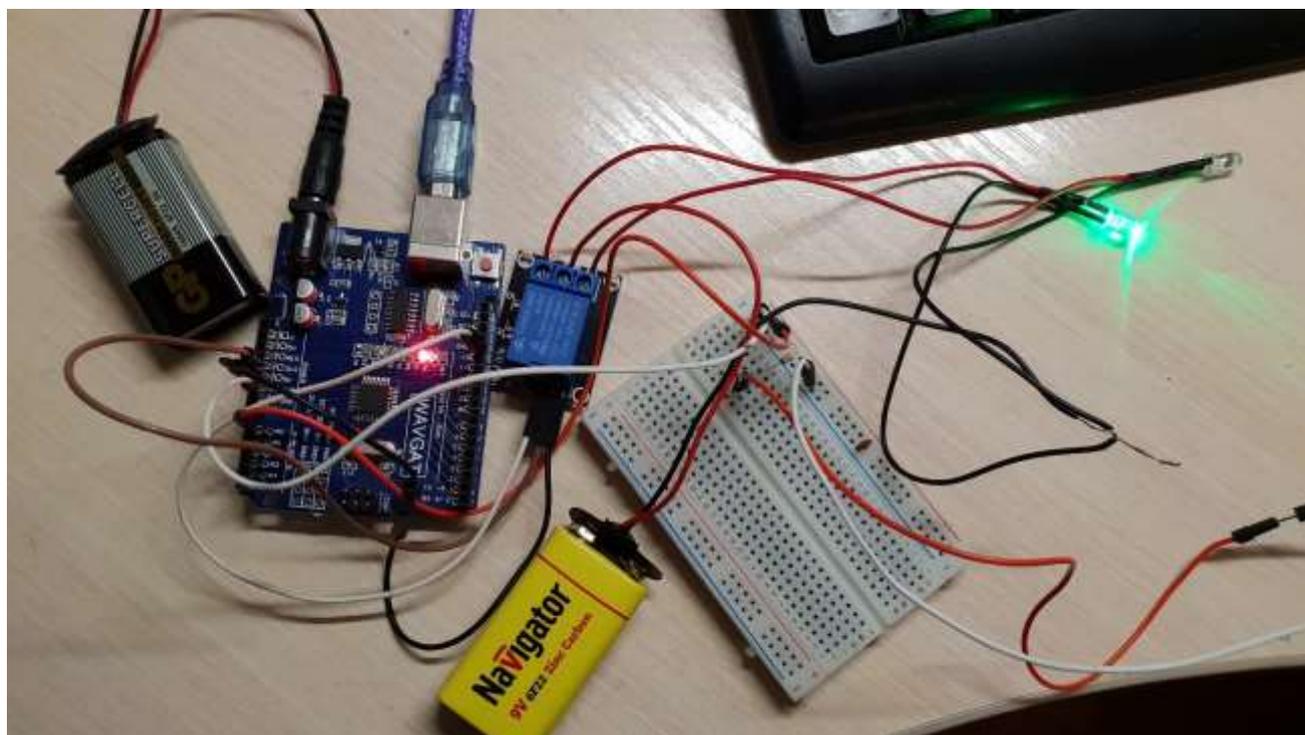


Рис. 12

Наблюдать значения измеренной скорости ветра можно на экране монитора COM-порта. Актуализация данных происходит 1 раз в 1 сек – определяется функцией *delay(1000)* в миллисекундах в скетче.

Для удобства мы предусмотрели индикацию сильного и слабого, умеренного ветра:

Штиль, слабый и умеренный ветер – горит зелёный светодиод;  
сильный ветер – горит красный светодиод

В скетче установим пороговое значение скорости ветра «6 м/с». От 0 до 6 м/с - это слабый и умеренный ветер, сигнал на 13 цифровом пине отсутствует.

При скорости ветра больше 6 м/с на пин 13 поступает сигнал +5В, срабатывает реле, переключает контакты, гаснет зелёный светодиод и загорается красный светодиод.

Реле – это переключатель, управляемый в нашем случае от 13-го пина).

В цепь аналогового сигнала от генератора включим резистор и конденсатор для среза помех и выделения полезного сигнала.

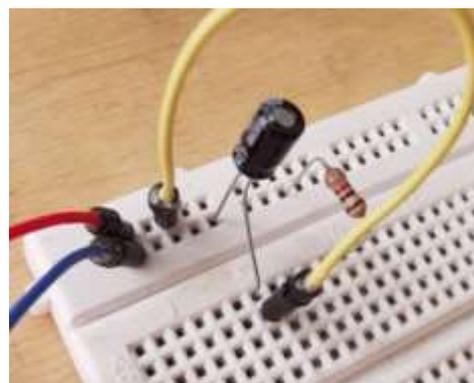
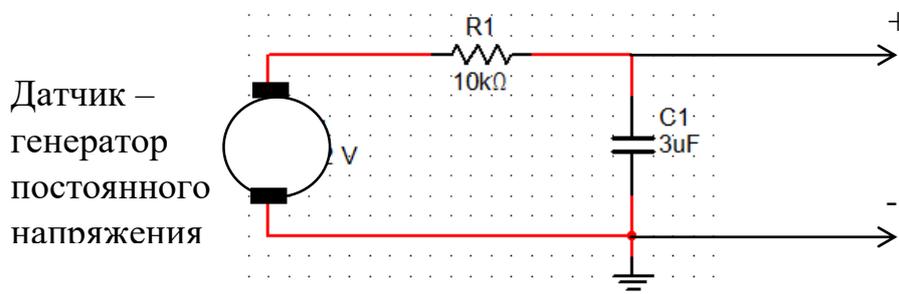


Рис. 13



К аналоговому  
пину «A0»  
К пину «gnd»

Рис. 14

## Рабочий скетч

```
#define PIN_LED 13
#define PIN_SENSOR A0
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PIN_LED, OUTPUT);
}
void loop() {
  int val = analogRead(PIN_SENSOR)/ 20.9;
  Serial.println(val);
  if (val < 6) {
    digitalWrite(PIN_LED, LOW);
  } else {
    digitalWrite(PIN_LED, HIGH);
  }
  delay(1000);
}
```

*Выполняется только при запуске: объявляем пины и устанавливаем сериал-соединение с последовательным COM – портом на скорости 9600 (чтобы всё видеть на мониторе)*

*Далее, всё крутится по циклу: считываем сигнал с аналогового пина «A0» делим на переводной коэффициент и сравниваем с пороговым значением «6»  
Если «да» (<6), то на 13-м пине - , LOW, т.е. «0».*

*В противном случае на 13-м пине – HIGH, т.е. +5В.*

*Время задержки – период актуализации измерений – 1000 мс = 1с для удобного восприятия информации*

На рис. 15 приведено уже опробованное и работоспособное изобретение в сборе. Осталось его собрать в коробку и придать эстетическое наполнение.

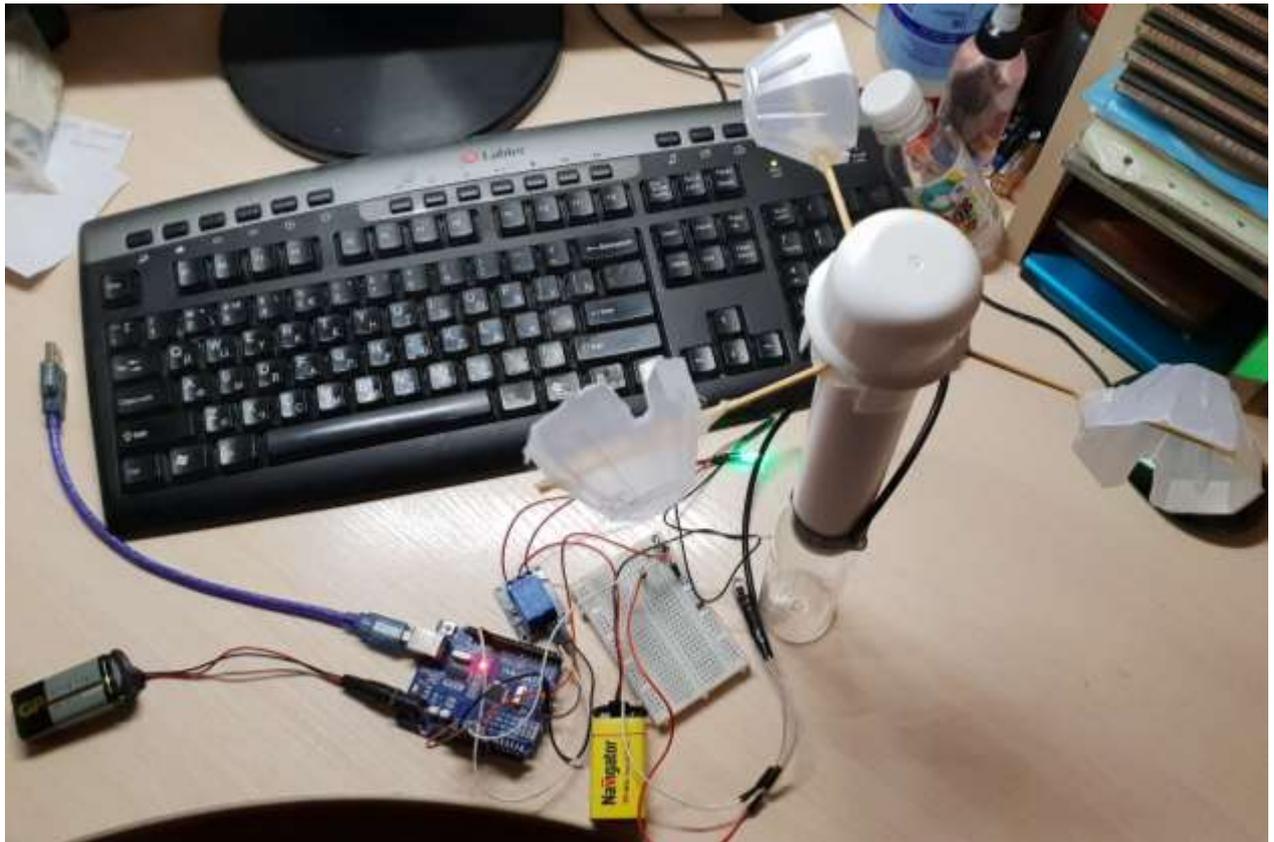


Рис. 15

Этапы сборки:



Рис. 16

В результате получилось такое изделие (рис.17)



Рис. 17

Провели испытание устройства.

На рис. 18 приведён *Print Screen* экрана последовательного СОМ-порта в режиме измерения силы ветра.

```
COM2
00:08:54.571 -> 4
00:08:55.568 -> 3
00:08:56.574 -> 4
00:08:57.575 -> 3
00:08:58.574 -> 4
00:08:59.576 -> 3
00:09:00.579 -> 3
00:09:01.566 -> 3
00:09:02.582 -> 3
00:09:03.585 -> 3
00:09:04.568 -> 3
00:09:05.588 -> 4
00:09:06.591 -> 4
00:09:07.579 -> 4
```

Слева показано время измерения, справа значение скорости ветра м/с.

Все измеренные данные зафиксированы, всегда можно посмотреть ретроспективу.

В ходе работы над проектом цель была достигнута – рассчитаны основные параметры и сконструирован и опробован в действии механический анемометр.

Поставленные задачи выполнены:

- мы разобрались в принципе измерения неэлектрических величин путём преобразования в зависимые от них электрические величины (ток, напряжение);
- изучили принцип действия и проанализировали работу машины постоянного тока, получили характеристику зависимости напряжения на выводах генератора от скорости вращения вала;
- сделали вывод о возможности использования микрогенератора в качестве датчика скорости вращения анемометра;
- сконструировали анемометр из подручных материалов;
- провели серию экспериментов с целью калибровки прибора и установления связи между напряжением микрогенератора и скоростью ветра
- разработали простейшую электронную схему подключения микрогенератора к микроконтроллеру “*Arduino*”;
- рассчитали связь между напряжением микрогенератора – величиной, выдаваемой АЦП – и скоростью ветра, определили необходимый коэффициент связи;
- определили технические характеристики нашего анемометра исходя из параметров микрогенератора;
- написали скетч в среде «*IDE*»;
- опробовали анемометр в работе, получили корректные результаты, совпадающие с данными значений скорости ветра взятых погодного сайта *Windy.com*, в мониторе последовательного *COM* – порта можно посмотреть всю ретроспективу данных по силе ветра ;
- сделали выводы, поставили задачи на будущее.

**Задача на ближайшее будущее:**

- проработать возможность подключения дисплея *LCD1602* по *I2C* – интерфейсу (*LCD1602* заказан в интернет-магазине Китая);

- разработать программу для вывода на дисплей *LCD1602* по *I2C* – интерфейсу, скорости ветра. Это позволит дополнить монитор последовательного *COM* – порта показаниями дисплея.

**Задачи на дальнейшее будущее:**

- добавить датчики температуры, дождя и влажности – разработать полноценную погодную станцию;
- написать скетч, связывающий все снимаемые параметры;
- установить *Wi-Fi* – модуль *ESP-8266-01* на базе процессора *Espressif* с интерфейсом *Wi-Fi.*, перепрошить его;
- связать *ESP-8266-01* с сервисом «Народный мониторинг» - Краудфандинговый геоинформационный *SaaS* сервис по отображению на карте мира и контролю (на ПК, смартфонах и других гаджетах) показаний датчиков. Если это реализовать, то можно вести наблюдения из любой точки планеты «Земля», где есть интернет.