

Министерство образования Пензенской области
Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования
Пензенской области
«Центр развития творчества детей и юношества»

**Стенд для определения физических характеристик двигателей и воздушных
винтов беспилотных малоразмерных летательных аппаратов**

Работу выполнил:
Шмаранов Алексей, 2008 г.р.

Руководитель:
Педагог дополнительного образования
Пеганов Станислав Юрьевич

Пенза 2024

Оглавление	
Введение	3
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	3
Виды беспилотных летательных аппаратов и принцип работы их двигательных систем.....	3
Методы определения характеристик двигателей и воздушных винтов	4
Поиск и анализ имеющегося оборудования для определения характеристик двигателей и воздушных винтов	5
Концепция создания роботизированного стенда для определения физических характеристик двигателей и воздушных винтов беспилотных малоразмерных летательных аппаратов.....	7
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
Состав устройства	8
Конструктивные особенности устройства.....	12
Системы и датчики измерения физических характеристик	13
Програмное обеспечение	16
Заключение	17
Литература.....	17
Приложение №1	21

Введение

В нынешнюю эпоху беспилотные летательные аппараты (коптеры различного типа, БПЛА самолетного типа) обрели признание и применение в самых разных сферах, от простого развлечения до профессиональной аэрофотосъемки, доставки грузов и в военных целях. С целью гарантировать максимальную эффективность работы такого аппарата, двигательная установка должна отвечать определенным требованиям. В контексте текущего проекта планируется создание особой установки, способной определить главные характеристики двигателей аппарата, в том числе тягу, мощность, температуру и обороты в минуту и другие. Это позволит осуществлять оптимальный подбор двигательных установок и лопастей для разных моделей летательных аппаратов и определять их технические параметры.

Данный проект на мой взгляд, важен для производства БПЛА, потому что он поможет улучшить их производительность и эффективность в разных областях. Стенд позволит производителям выбирать наиболее подходящие двигатели для своих изделий, а пользователям - знать, какие характеристики они могут ожидать от своих аппаратов. Разработка специальной установки для измерения основных характеристик двигателей летательных аппаратов откроет новые возможности для улучшения этой технологии в будущем.

Цель:

1. Сконструировать стенд, который позволит:
 - 1.1. Определять основные физические характеристики двигателей и воздушных винтов БПЛА.
 - 1.2. Диагностировать и выявлять неисправности данных двигателей.
 - 1.3. Подбирать оптимальные варианты двигателей и винтов для выполняемых БПЛА задач.
2. Разработать программное обеспечение для управления работой стенда и документированием полученных данных.

Задачи:

1. Разработать конструкции стенда для проведения испытаний двигателей и воздушных винтов БПЛА.
2. Создать программное обеспечение для управления стендом и обработки полученных данных.
3. Тестирование стенда и его усовершенствование для повышения точности и надежности измерений.

Актуальность:

Важность данного проекта связана с необходимостью постоянного развития технологий в области беспилотных летательных аппаратов. Разработка стенда для определения характеристик двигателей и воздушных винтов, позволит повысить эффективность и производительность этих устройств, а также оптимизировать выбор двигательных систем для каждой конкретной выполняемой задачи. Это, в свою очередь, откроет новые перспективы для развития всей отрасли производства БПЛА. Ведь чем более совершенными и эффективными будут эти устройства, тем больше возможностей откроется перед их создателями и пользователями.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Виды беспилотных летательных аппаратов и принцип работы их двигательных систем

Все беспилотные летательные аппараты можно разделить на следующие типы:

Аэростатические. Имеют оболочку, заполненную газом или нагретым воздухом, для создания подъёмной силы. Используются для долгосрочного наблюдения, связи, метеорологии и других задач.

Реактивные. Передвигаются в пространстве за счёт действия реактивной тяги двигателей автономно или под внешним управлением. Используются, в основном, как средства поражения наземных и воздушных целей.

БПЛА самолётного типа (с фиксированным крылом). Оснащены несущими крыльями, которые обеспечивают подъёмную силу и полёт. Управляются дистанционно или компьютером. 1

БПЛА вертолётного типа (однороторные). По своей конструкции напоминают вертолёты. Оснащены большим ведущим винтом, а иногда ещё одним — на хвосте (контроль траектории полёта).

Мультироторные (квадрокоптерные). Это летающие платформы с тремя и более бесколлекторными двигателями с пропеллерами. 1

Гибридные. Неподвижное крыло обеспечивает им возможность дальних полётов, а винты позволяют зависать над исследуемыми объектами.

Созданный стенд, по своим конструктивным особенностям, предназначен для измерения физических характеристик двигателей и винтов БПЛА самолётного, вертолётного и мультироторного типов.

Принцип полёта БПЛА самолётного типа основан на тех же законах аэродинамики, что и у пилотируемых самолётов.

Двигатель создаёт тягу, которая толкает БПЛА вперёд. Это позволяет ему набирать скорость и подниматься в воздух.

Крылья создают подъёмную силу, которая поддерживает БПЛА в воздухе. Форма и размер крыльев определяют характеристики полёта, такие как скорость и манёвренность.

Двигательная система БПЛА вертолётного и мультироторного типа работает на основе закона сохранения импульса: вращающиеся лопасти создают реактивную тягу, отталкивая воздух вниз и обеспечивая подъёмную силу для этих аппаратов.

Методы определения характеристик двигателей и воздушных винтов

В рамках данного проекта планируется создание стенда, измеряющего основные характеристики моторов и воздушных винтов БПЛА, такие как тяга, потребляемая мощность, температура и уровень вибрации двигателя и уровень создаваемого шума.

Тяга — это сила, которую создает двигатель совместно с воздушным винтом аппарата, толкая воздух. Она измеряется в Ньютонах, но для удобства её переводят в граммы или килограммы. Тяга является ключевым параметром, определяющим способность квадрокоптера подниматься в воздух. Она может быть измерена с использованием динамометра, который прикладывается к мотору. В данном проекте измерение тяги происходит с помощью тензодатчика.

Потребляемая мощность — это количество энергии, которое двигатель потребляет от источника питания для создания тяги. Она измеряется в Ваттах и является важным параметром, который определяет эффективность двигателя и его способность выполнять задачи. Потребляемая мощность зависит от напряжения питания, сопротивления нагрузки и эффективности преобразования электрической энергии в механическую энергию. Измерить мощность можно при помощи вольтметра и амперметра.

Обороты двигателя в минуту — это показатель того, сколько полных оборотов совершает двигатель за одну минуту. Этот параметр определяет скорость вращения двигателя и, следовательно, его способность создавать тягу. Для измерения оборотов двигателя в минуту можно использовать тахометр — это прибор, который измеряет количество оборотов двигателя за определенный промежуток времени.

Коэффициент полезного действия (КПД) двигателя определяется как отношение полезной работы к затраченной энергии. КПД можно определить путем измерения мощности на входе и на выходе двигателя. Мощность двигателя можно рассчитать путем умножения тяги на скорость вращения.

Температура двигателя — это важный параметр, который необходимо контролировать. Перегрев двигателя может привести к его выходу из строя, поэтому необходимо следить за температурой с помощью специальных датчиков. Температуру двигателя можно измерить с помощью термопары или инфракрасного термометра. Измеряется в градусах Цельсия.

Вибрационные колебания, создаваемые мотором, могут быть замерены при помощи акселерометра или специального датчика вибрации, которые позволяют установить степень этих вибраций, а также их воздействие на функционирование двигателя и БПЛА в комплексе.

Уровень звука создаваемый винтами и самим мотором, на первый взгляд является не самым главным параметром, в процессе эксплуатации, но при эксплуатации летательных аппаратов в «особых» приобретает особое значение. Измеряется в Децибелах.

Поиск и анализ имеющегося оборудования для определения характеристик двигателей и воздушных винтов

На сегодняшний день существует несколько предложений аналогичного оборудования:

1. LY-30KGF. Стенд для тестирования двигателей БВС с набором для калибровки. Продавец (изготовитель) United Windssocks Russia.

Стоимость 2 499 000 рублей.

Измерения:

- тяга от 3 до 30 кгс;
- крутящий момент до 20 Н*м с шагом 0,001 Н*м и точностью не ниже 0.15%;
- число оборотов от 30 до 15000 об/мин с шагом 1 об/мин;
- температура двигателя от -70С до +350С с точностью 0,5С;
- влажность 0-100% с шагом 1%;
- давление 50-120 КПа с шагом 0.01 КПа.

Беспроводная передача данных 2,4 ГГц на расстояние до 2000м



2. Стенд для измерения тяги двигателя. Изготовитель Avanti Education.
Стоимость 2 499 000 рублей.

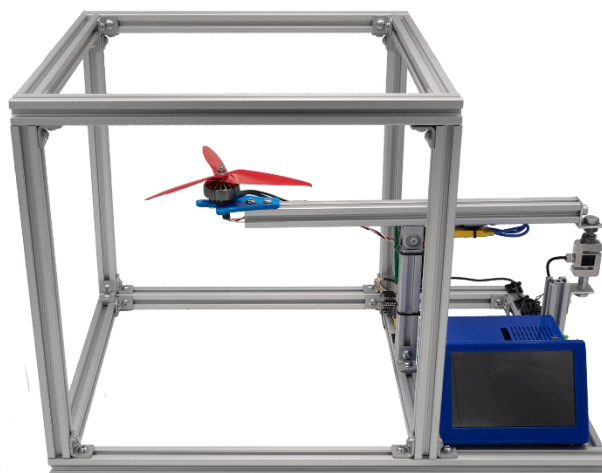
Характеристики:

Пропеллеры:

3-10 дюймов;

Измерения:

- тяга (КГ);
- потребляемый ток (А);
- мощность;
- число оборотов двигателя в минуту.



3. Стенд LY-MAX 300KGF для тестирования двигателей БВС с набором для калибровки. Продавец (изготовитель) United Windsocks Russia.
Стоимость 6 499 000 рублей.

Измерения:

- тяга от 10 до 300 кгс;
- крутящий момент до 400 Н*м с шагом 0,01 Н*м и точностью не ниже 0.15%;
- число оборотов от 30 до 12000 об/мин с шагом 30 об/мин;
- температура двигателя от -70С до +350С с точностью 0,5С;
- влажность 0-100% с шагом 1%;
- давление 50-120 КПа с шагом 0.01 КПа.



Общими основными недостатками данных стендов является :

1. Высокая стоимость.
2. Сложность конструкции с системой рычагов, которые уменьшает точность отдельных измерений.
3. Отсутствие защиты от срыва винта.

Концепция создания роботизированного стенда для определения физических характеристик двигателей и воздушных винтов беспилотных малоразмерных летательных аппаратов

Проведя анализ имеющихся на рынке образцов стендов, их декларируемых возможностей, а также проведя консультации с операторами и инженерами БПЛА (любителями) были определены основные требования к создаваемому аппарату.

1. Простота конструкции и изготовления, для возможности повторения и уменьшения конечной стоимости изделия.
2. Максимальная роботизация и автоматизация процесса испытания двигателя и винтов.
3. Максимальное число измеряемых параметров работы.

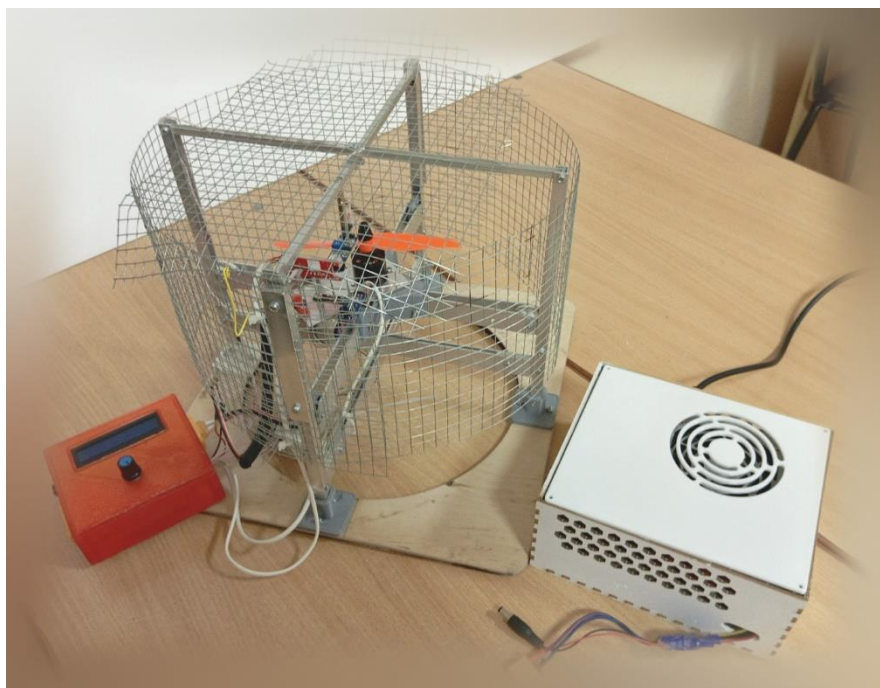
Исходя из вышеизложенного были выбрана следующая конструкция стенда, применяемые материалы и датчики.

Конструкция неподвижная рама, прикрепленная к основанию, с закрепленными жестко на ней вертикальными П-образными профилями, являющимися направляющими для вертикального перемещения подвижной рамы, с закрепленным на ней мотором. Перемещение подвижной рамы относительно неподвижной рамы производится с помощью колес, закрепленных на четырех концах подвижной рамы. Тяга, создаваемая винтомоторной группой, измеряется тензодатчиком закрепленным к обоим рамам, что дает возможность прямого измерения без учета длин рычагов в рассмотренных ранее конструкциях.

Измеряемые параметры:

1. Сила потребляемого тока.
2. Напряжение, подаваемое на двигателя.
3. Тяга.
4. Число оборотов.
5. Температура двигателя.
6. Уровень создаваемой вибрации.
7. Уровень создаваемого шума.

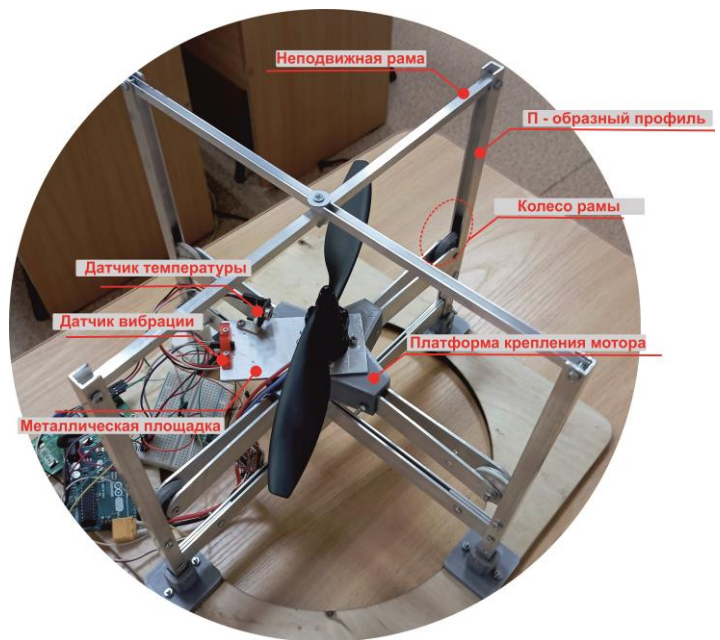
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.



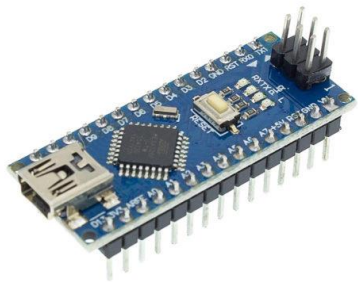
Состав устройства

Стенд для тестирования двигателя имеет несколько базовых элементов:

1. Основание
2. Неподвижная рама.
3. П-образный профиль для движения подвижной рамы.
4. Подвижная рама.
5. Платформа для крепления мотора.
6. Металлическая площадка.
7. Колеса подвижной рамы
8. Датчики для измерения характеристик двигателя и воздушных винтов
9. Блок управления и индикации.
10. Блок питания.
11. Защитная металлическая сетка



Отладочная плата ArduinoNano



Arduino Nano является одной из самых популярных плат в семействе Arduino. Она создана на основе 8-разрядного микроконтроллера ATmega328P (существуют также версии на базе ATmega168P) от известного производителя AVR. Эти микроконтроллеры были представлены довольно давно, однако они обладают хорошими характеристиками, удобны для изучения и программирования.

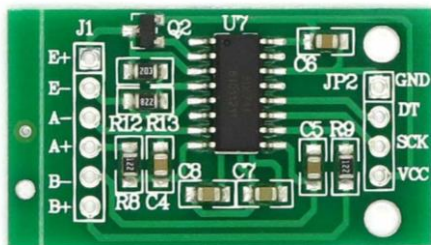
Характеристики:

- Напряжение питания: 3 – 5В
- Питание через стабилизатор: 7 – 15В
- Максимальный ток с пина: 40 мА
- Ток потребления: 20 мА
- Частота процессора: 16 МГц
- Flash память (программа): 32 кБ
- SRAM память (оперативная): 2 кБ
- EEPROM память: 1 кБ
- Цифровые пины: 20
- Аналоговые пины: 8
- Аппаратные ШИМ пины: 6
- Аппаратные интерфейсы: SPI, I2C, UART

Модуль HX711

Arduino-модуль HX711 работает на основе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) со встроенным усилителем HX711 и предназначен для считывания данных с тензометрических датчиков (датчиков, преобразующих механическую деформацию в электрический сигнал).

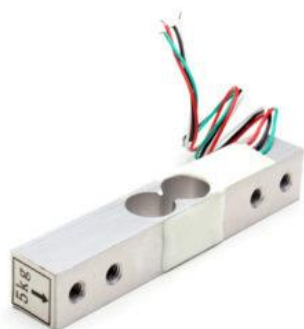
Характеристики:



- Напряжение питания: 5 – 6В
- Количество каналов подключения тензодатчиков: 2
- Коэффициент усиления: 32, 64, 128
- Дифференциальный вход с напряжением: ± 40 мВ
- Разрядность АЦП: 24 бит
- Частота измерений: 80 Гц

- Рабочий ток: <10 мА

Тензодатчик



Тензодатчик (или тензорезистор) — это датчик, который измеряет силу или деформацию объекта. Он делает это путем изменения своего электрического сопротивления в зависимости от приложенного к нему усилия. Тензодатчики широко используются в промышленности, науке и медицине для измерения нагрузок, взвешивания, измерения давления и других параметров.

Характеристики:

- Тип: мостовой
- Максимальный вес: 5 кг

Датчик тока ACS712



Датчик тока ACS712 работает по принципу эффекта Холла и состоит из медного проводника и датчика Холла. Проходящий через медный проводник ток генерирует магнитное поле, которое регистрируется элементом Холла. Величина магнитного поля прямо пропорциональна силе тока. Выходное напряжение сенсора прямо пропорционально зависит от тока, который измеряется. Для измерения тока датчик подключается последовательно к исследуемому проводнику.

Характеристики:

- Напряжение питания: 5В
- Ток потребления: <11 мА
- Диапазон измерения: 30А
- Чувствительность: 66 мВ/А
- Сопротивление токовой шины: 1,2 мОм

Датчик напряжения



Датчик напряжения, работающий по принципу схемы делителя напряжения с использованием резисторов, уменьшает входной сигнал напряжения в 5 раз, создавая соответствующее аналоговое выходное напряжение. Благодаря этому свойству возможно измерение напряжения до 25 вольт, используя 5-вольтовый аналоговый вход любого микроконтроллера. Для измерения напряжения модуль подключается парал-

лельно к проводнику.

Характеристики:

- Входное напряжение: 0 – 25В
- Шаг измерения напряжения: 0,005В
- Сопротивление 1 резистора: 30 кОм
- Сопротивление 2 резистора: 7,5 кОм

Датчик температуры MLX90614

Датчик MLX90614 является бесконтактным датчиком температуры, который считывает температуру объекта путем обнаружения и преобразования инфракрасного излучения.



Характеристики:

- Напряжение питания: 3,6 – 5В
- Измеряемый диапазон температур: -70 – 380°C
- Точность измерения: 0,5°C
- Интерфейсы: SMBus, ШИМ

Датчик вибрации SW-18010P

В качестве чувствительного элемента в этом модуле используется датчик SW-18010P. Этот датчик выполнен в виде герметичной трубки с пружиной внутри, которая при воздействии удара или ускорения на короткое время касается корпуса датчика.



Характеристики:

- Напряжение питания: 3,3 – 5В
- Потребляемый ток: 10 мА
- Выходной ток: 15 мА
- Цифровой выход: TTL
- Аналоговый выход: от 0В до напряжения питания

Датчик линии TCRT5000

Инфракрасный датчик черной линии, включает в себя оптопаре TCRT5000, которая состоит из двух элементов — ИК-светодиода (излучателя) и фототранзистора (приемника).

Характеристики

- Область видимости сенсора: 3–12 мм
- Напряжение питания Vcc: 3,3–5 В
- Аппаратный интерфейс: контакты S-V-G
- Программный интерфейс: аналоговый сигнал



Дисплей

LCD 1602 — это дисплей, основанный на технологии жидких кристаллов. Он способен отображать текстовые данные в две строки, по 16 символов в каждой строке, каждый символ представлен в виде матрицы из 5 x 7 пикселей.



Характеристики:

- Напряжение питания: 5В
- Размер дисплея: 2,6 дюйма
- Тип дисплея: 2 строки по 16 символов
- Цвет подсветки: синий
- Цвет символов: белый

Энкодер



Энкодеры — это устройства, которые могут преобразовывать одну величину в другую. Поворотный энкодер — это устройство, которое преобразует вращательное механическое движение в цифровой сигнал.

Характеристики:

- Напряжение питания: 3,3 – 5В
- Поворот: на 360°
- Тип: механический, инкрементальный
- Кнопка: нормально разомкнутая
- Щелчков на оборот: 20

Датчик звука



Данный датчик позволяет получить аналоговое значение, соответствующее уровню громкости звука. Модуль обладает высокой чувствительностью. Сигнал на выходе модуля не повторяет форму звукового сигнала, а соответствует уровню его громкости в любой промежуток времени.

Характеристики

- Напряжение питания: 5 В постоянного тока.
- Потребляемый ток: 3,3 ... 3,7 мА (зависит от уровня громкости).
- Чувствительность: -40 дБ ± 2 дБ.
- Частотный диапазон: 35 Гц ... 10 кГц.

HC-06

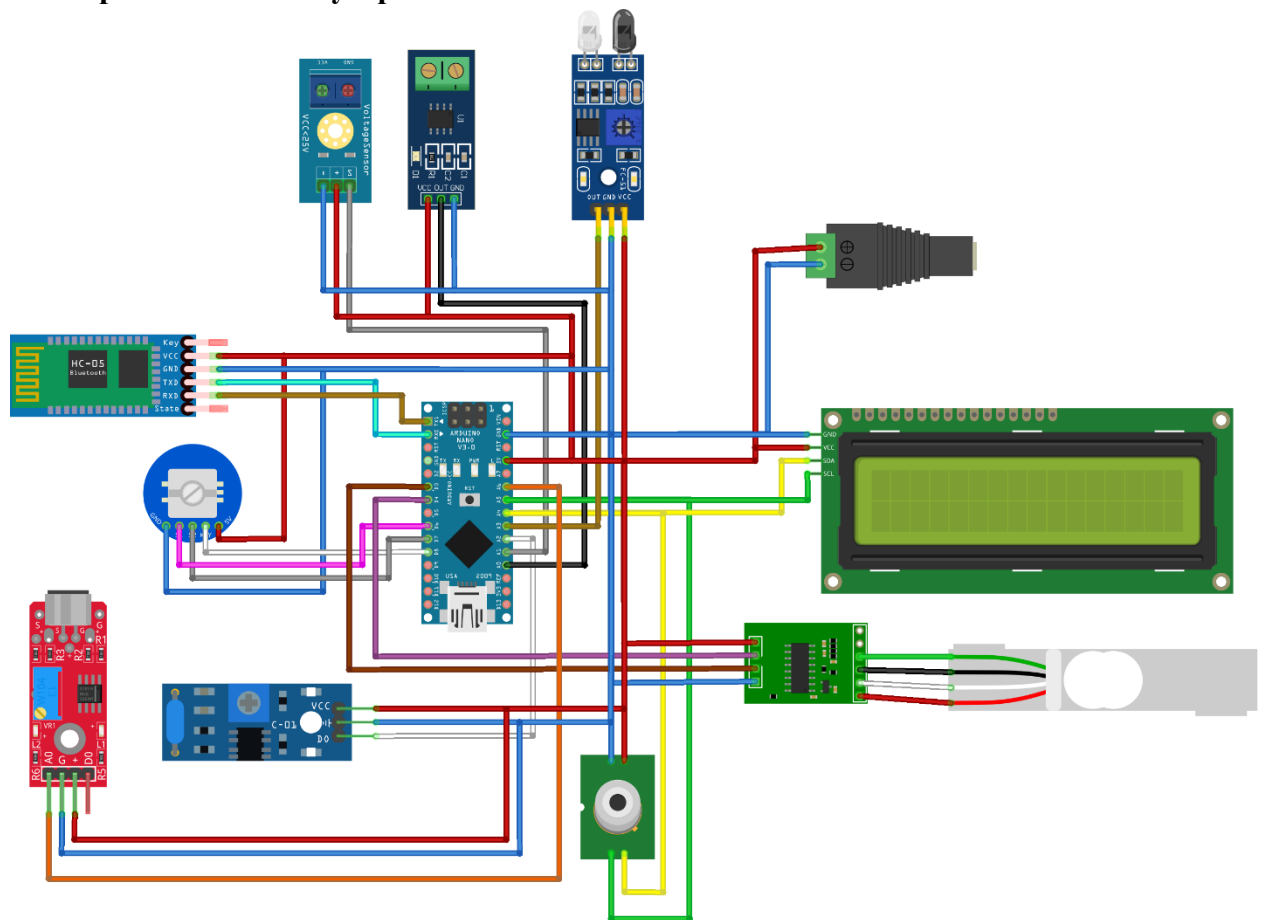


HC-06 - это Bluetooth-модуль, предназначенный для беспроводной передачи данных через UART-COM порт и служащий для простого обмена информацией между устройствами Arduino и мобильными приложениями или компьютерными программами.

Характеристики:

- Напряжение питания: 5В
- Интерфейс: UART
- Ток потребления: 5 мА
- Логический уровень: 3,3В
- Дальность связи: 30 м
- Рабочая частота: 2,4 ГГц
- Скорость UART: 9600

Электрическая схема устройства



fritzing

Конструктивные особенности устройства

Система крепежа мотора предназначена для прочной установки двигателя на тестовом стенде и состоит из специализированных деталей крепления, которые гарантируют надежную фиксацию мотора и позволяют осуществлять измерения при разнообразных режимах функционирования.

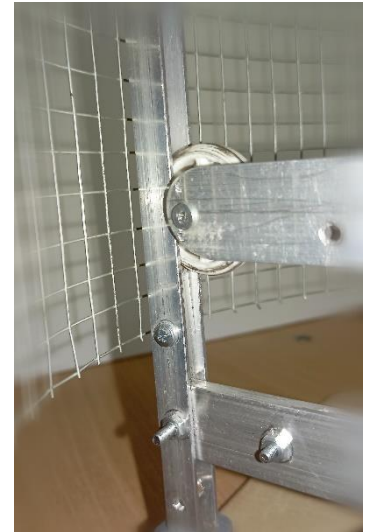


К неподвижной платформе прикреплены четыре П-образных профиля, которые выступают в качестве салазок для колес подвижной рамы, на которой закреплена площадка для крепления мотора и датчиков. Подвижная рама может свободно перемещаться в вертикальном направлении.



Тензодатчик определяющий силу тяги, с одной стороны прикреплен к неподвижной раме, а с другой стороны к подвижной раме.

Металлическая сетка защищает окружающих от получения травм в процессе проведения испытаний, в случаях срыва винтов и их поломки.

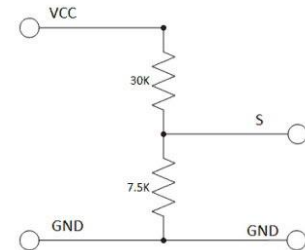


Системы и датчики измерения физических характеристик

Система измерения мощности двигателя.

Позволяет измерить напряжение, подаваемое на двигатель и силу тока, протекающую в данной цепи, а также определить эффективность его работы.

Датчик тока ACS712, как уже было сказано выше выдает на аналоговый вход напряжение от 0 до +5В. Для перевода в единицы измерения силы тока (Амперы), используется Arduino-библиотека в которой конвертируется полученное аналоговое значение с датчика в Амперы.



Датчик напряжения представляет собой делитель напряжения, состоящий из двух резисторов с сопротивлениями 30 кОм и 7.5 кОм.

VCC и GND — выводы измеряемого источника напряжения (0-25 В), S — аналоговый вывод, подключенный к аналоговому выводу микроконтроллера, + — не подключен, GND — контакт заземления, подключенный к GND микроконтроллер.

Расчет измеряемого напряжения U , производим по следующей формуле:

$$U_s = \frac{S \times 5}{1024}, U = \frac{U_s}{R_2 / (R_1 + R_2)},$$

Где:

S — относительное значение, выдаваемое микроконтроллером с аналогового входа от 0 до 1024;

U_s — напряжение, на аналоговом входе микроконтроллера в Вольтах;

R_1, R_2 — величины сопротивлений делителя напряжения, 30000 и 7500 Ом соответственно.

Датчик измерения температуры двигателя.

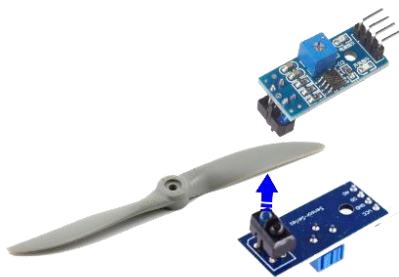
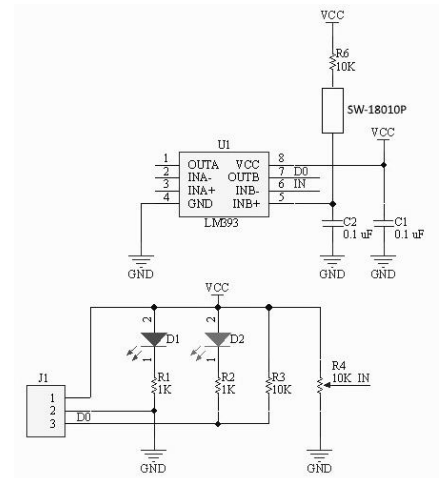
В качестве которого используется бесконтактный датчик температуры MLX90614.

Датчик измерения уровня вибраций

Датчик вибрации SW-18010P, который позволяет контролировать уровень вибраций двигателя.

Модуль датчика содержит четыре контакта, два выходных контакта, аналоговый и цифровой и два контакта для подключения питания. Для считывания аналогового сигнала предусмотрен отдельный вывод «АО», с которого можно считать показания напряжения с 0 В ... 3.3 В или 5 В в зависимости от используемого источника питания.

В данном случае уровень вибрации измеряется в относительных единицах от 0 до 1024.



Система измерения количества оборотов мотора.

Данная система включает в себя два инфракрасных датчика линии TCRT5000, установленных друг напротив друга.

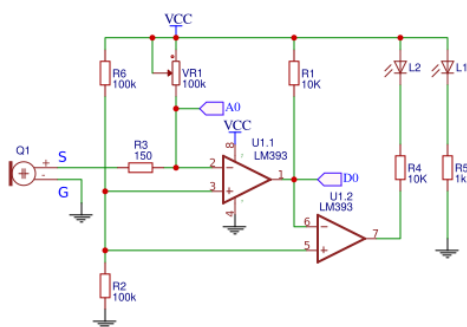
Подсчет числа оборотов ведется на основе счета числа прерываний светового потока винтом.

В программе управления и документирования указывается число лопастей испытуемых винтов.

Следует отметить, что измерение числа оборотов двигателя, возможно только с использованием винтов.

Датчик измерения уровня звука.

Для измерения уровня звука издаваемых двигателем и воздушным винтом используется датчик звука с аналоговым выходом.



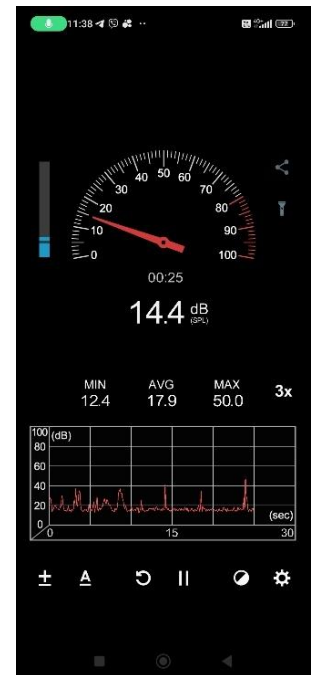
Уровень звукового сигнала микроконтроллером регистрируется в относительных единицах от 0 до 1024. Для измерения уровня звукового сигнала в децибелах необходимо откалибровать датчик и получить эмпирическую формулу перевода из одних единиц в другие.

Для получения данной эмпирической формулы перевода нам необходимо поставить в соответствие условным единицам выдаваемым Arduino, значение уровня звука получаемым «эталонным» измерителем уровня звукового сигнала в нескольких точках. На основе полученных данных, используя стандартные методы аппроксимации получить формулу для перевода.

В качестве «эталонного» измерителя использовался смартфон с установленной программой «SoundMeter»

Полученные данные:

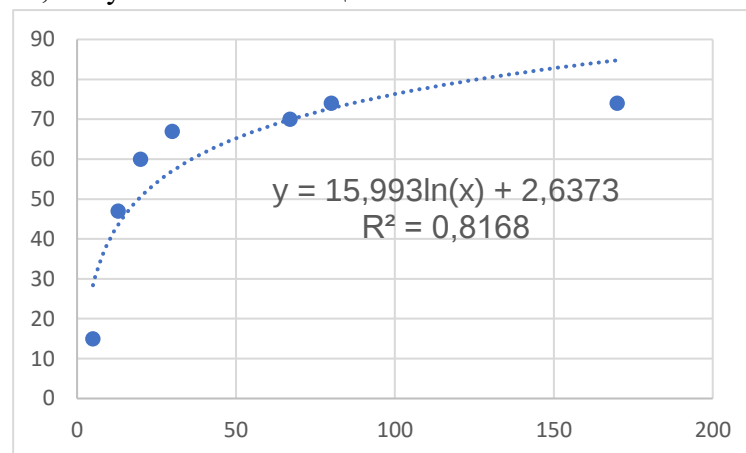
Отн_ед.	Дб
5	15
13	47
20	60
30	67
67	70
80	74
170	74



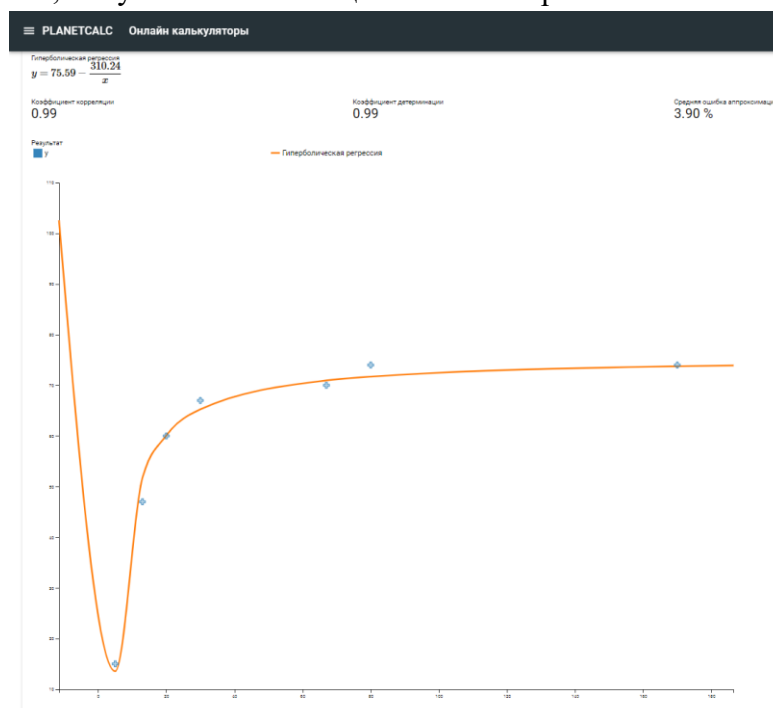
Аппроксимация полученных данных была проведена двумя способами:

1. С помощью инструментов Microsoft Excel.
2. Онлайн-сервиса Planetacalc.ru.

Результаты, полученные с помощью Microsoft Excel:



Результаты, полученные с помощью онлайн-сервиса Planetacalc.ru:



Таким образом, в результате анализа полученных данных можно сделать вывод, что наиболее точная формула перевода значений, следующая:

$$L_{(дб)} = 75,59 - \frac{310,24}{S}$$

Где:

S – относительное значение, выдаваемое микроконтроллером с аналогового входа от 0 до 1024;

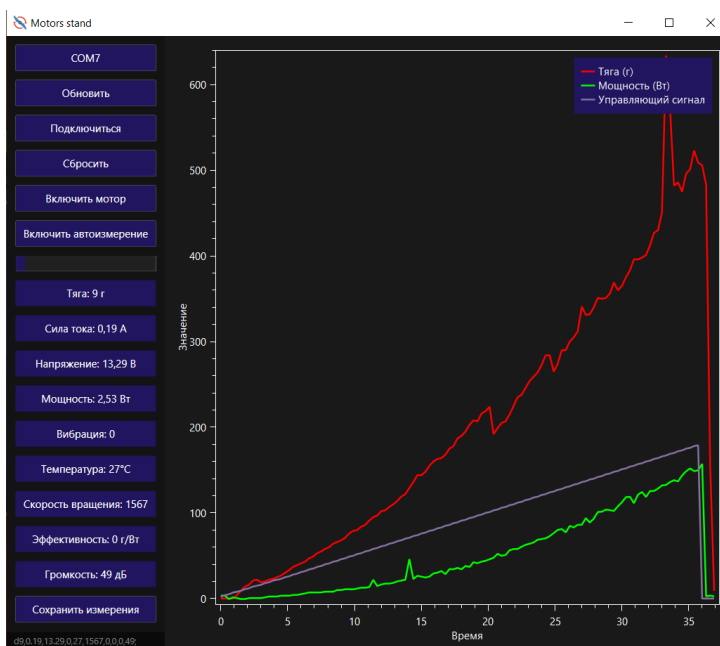
$L_{(дб)}$ – уровень звука(шума) в децибелах.

Данная формула была реализована в программе управления и документирования.

Програмное обеспечение

Программа управления и документирования самостоятельно написана на высокоуровневом языке C# с использованием технологии WPF (Windows Presentation Foundation), которая представляет собой подсистему для создания графических интерфейсов.

WPF использует язык разметки XAML для декларативного создания интерфейса, разделяя дизайн и логику, и обеспечивает аппаратное ускорение графики через DirectX. Гибкая система стилей и шаблонов упрощает изменение внешнего вида приложения.



ПО обеспечивает:

- Запуск мотора на определённой скорости.
- Измерение тяги, мощности, количества оборотов, температуры, уровня вибрации и уровня звука.
- Вывод показаний на дисплей, компьютер или телефон.
- Сохранение показаний в лог.
- Управление системой с помощью энкодера.

Стенд подключается к компьютеру по кабелю USB или Bluetooth.

В программе выбирается порт и производится подключение.

Через меню можно управлять стендом: калибровать тензодатчик, включать мотор, изменять его скорость и запускать мотор в режиме автоматического измерения. В этом режиме мотор запускается с минимальной скоростью и постепенно увеличивает её до максимума.

Программа получает все показания со стенда (тяга, сила тока, напряжение, мощность, уровень вибрации, температура, скорость вращения, эффективность и громкость) и выводит их на экран. На основе этих данных строится график.

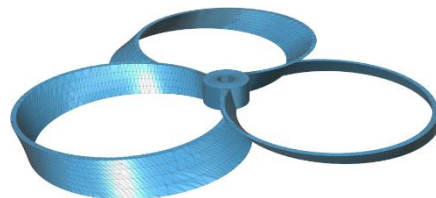
Нажатием на кнопку с характеристикой можно добавить эти показания на график.

Все характеристики можно сохранить в виде таблицы Excel, в виде графика в формате PDF и SVG, а также в виде файла JSON.

Заключение

В результате моей работы был разработан и проверен стенд для тестирования двигателей и пропеллеров беспилотных летательных аппаратов, а также программное обеспечение управления стендом и документирования различных характеристик.

Полученные данные приведены в приложении 1, для трех различных винтов. Два двухлопастных винта заводского изготовления и один винт тороидального вида, смоделированный самостоятельно и распечатанный на 3D принтере.



Полученные данные приведены в приложении 1, для трех различных воздушных винтов. Два двухлопастных винта заводского изготовления и один винт тороидального вида, смоделированный самостоятельно и распечатанный на 3D принтере.

Используемая методика тестирования может быть применена для определения различных характеристик двигателей. Стенд имеет практическую значимость и может быть использован для исследования различных типов двигателей и воздушных винтов летательных аппаратов, а также для оптимизации их характеристик. В дальнейшем планируется совершенствование стенда и программного обеспечения для расширения возможностей тестирования и повышения точности результатов.

Литература

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. <http://wiki.amperka.ru>
3. <https://codius.ru>
4. Джереми Блум. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства. ISBN: 978-5-9775-3585-4 Издательство "BHV". 2015г.

Файл данных испытаний мотора A2212 и двухлопастного винта диаметром 260мм

Время;	Тяга;	Сила тока	Напряжение	Мощность	Вибрация	Температура	RPM	УПР Сигнал	Эффективность	Уровень звука
1	1	0,26	12,39	3,22	0	25	0	2	0,31	
2	0	0,26	12,39	3,22	0	25	0	4	0	1,4
3	0	0,04	12,27	0,49	0	25	0	5	0	2,0
4	0	0,04	12,27	0,49	0	25	4	7	0	2,0
5	4	0,04	12,27	0,49	0	25	4	8	8,16	2,0
117	566	12,55	11,9	149,34	0	25	6973	176	3,79	8,1
118	586	12,4	11,9	147,56	0	25	6997	177	3,97	8,1
119	590	12,4	11,9	147,56	0	25	6339	179	4	8,1
120	580	12,55	11,9	149,34	0	25	7149	180	3,88	8,1

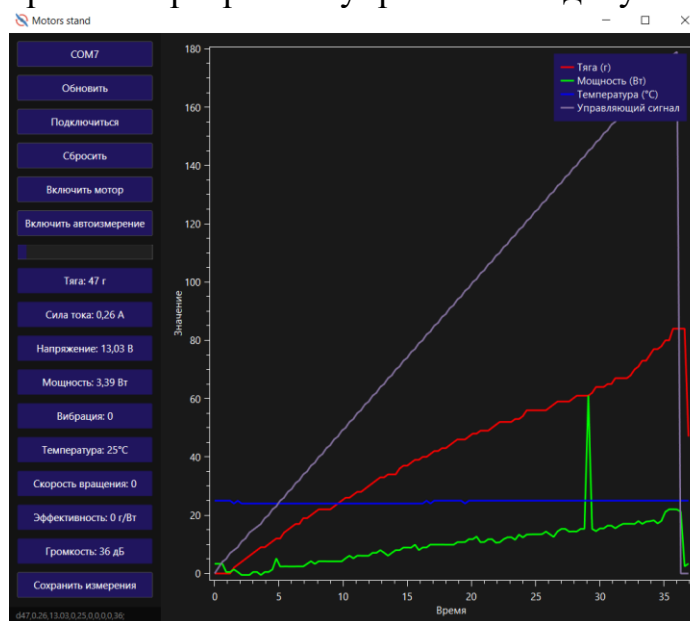
Скриншот работы программы управления и документирования



Файл данных испытаний мотора A2212 и двухлопастного винта диаметром 155мм

Время;	Тяга;	Сила тока °	Напряжение	Мощность	Вибрация	Температура	RPM	УПР Сигнал	Эффективность	Уровень звука
1	0	0,26	12,44	3,23	0	23	0	2	0	1,4
2	0	0,19	12,44	2,36	0	23	0	4	0	1,4
3	0	0,04	12,32	0,49	0	23	0	5	0	2,0
4	0	0,04	12,32	0,49	0	22	4	7	0	2,0
117	83	1,74	12,17	21,18	0	22	6973	176	3,92	5,1
118	84	1,74	12,17	21,18	0	22		177	3,97	5,1
119	84	1,67	12,17	20,32	0	22		179	4,13	5,1
120	85	1,74	12,17	21,18	0	22		180	4,01	5,1

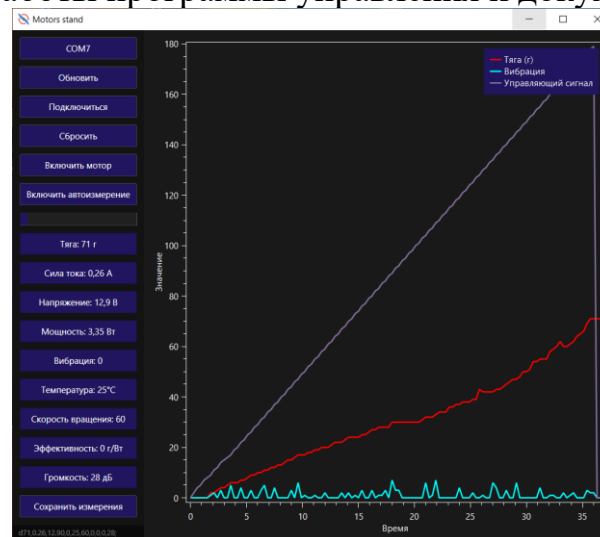
Скриншот работы программы управления и документирования



Файл данных испытаний мотора A2212 и тороидального винта диаметром 120 мм

Время;	Тяга;	Сила тока	Напряжение	Мощность	Вибрация	Температура	RPM	УПР Сигнал	Эффективность	Уровень звука
1	0	0,26	12,44	3,23	0	22	0	2	0	0
2	0	0,26	12,44	3,23	0	23	0	4	0	1,4
3	0	0,04	12,32	0,49	0	23	0	5	0	2,1
4	0	0,04	12,32	0,49	0	22	4	7	0	1,4
							4			
117	77	4,92	12,1	59,53	0	22		176	1,29	4,8
118	81	4,92	12,1	59,53	0	22	6973	177	1,36	4,8
119	91	5	12,1	60,5	0	22	6997	179	1,5	4,8
120	108	5,07	12,07	61,19	0	22	6339	180	1,76	4,8

Скриншот работы программы управления и документирования



РЕЦЕНЗИЯ

на научно-исследовательский проект учащегося

ГБУ ДО Пензенской области

«Центр развития творчества детей и юношества»

«Стенд для определения физических характеристик двигателей и воздушных винтов беспилотных малоразмерных летательных аппаратов»

Данный учебно-исследовательский проект учащейся является одним из ярких примеров разработки инженерной задачи. Не секрет, что на сегодняшний день одной из актуальных проблемам современности является проблема воспитания инженерных кадров. Созданное устройство несмотря на то, что оно создано учащимся 10 класса, включает в себя ряд интересных идей и предложений, заслуживающих рассмотрения специалистами соответствующих производственных и промышленных направлений.

Так же следует отметить низкую себестоимость данного устройства по сравнению с аналогичными приборами серийного производства.

Данная работа также демонстрирует комплексный подход к решению поставленных задач, изучение материалов из различных разделов физики, информатики и технологии.

Процесс создания устройства, разработки и испытания учащегося показал ее заинтересованность в решении совокупности задач в сфере создания экспериментальных измерительных устройств и их программирования, изучении материалов не входящих в состав школьной программы.

Вместе с тем следует отметить, что работа в данном направлении может и должна быть продолжена с учетом расширения возможностей данного прибора, совершенствованию алгоритмов работы и возможностей автоматизированного анализа.

Я, считаю, что проведенная работа заслуживает высокой оценки с точки зрения профессиональной ориентации, инженерной подготовки учащихся и освоения ими новых инновационных технологий.

Методист ГБУ ДО Пензенской области

«Центр развития творчества детей и юношества»

С.Ю.Пеганов