

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ «ШАГ В БУДУЩЕЕ,
МОСКВА»**

регистрационный номер

Информатика и системы управления

название факультета

Системы обработки информации и управления

название кафедры

**Метеостанция для измерения основных параметров атмосферы у земли и на
ВЫСОТАХ**

название работы

Автор:

Моторкин Владимир Максимович

фамилия, имя, отчество

школа № 1580 класс 11 Г

наименование учебного заведения, класс

Научный руководитель:

фамилия, имя, отчество

место работы

звание, должность

подпись научного руководителя

Москва - 2019

Содержание работы:

Введение.....	3
Основная часть.....	5
1. Аналитический раздел.....	5
1.1. Выбор платформы для создания метеостанции.....	5
1.2. Выбор датчиков.....	7
1.3. Выбор основы для наземной станции.....	12
1.4. Выбор полетного контроллера БПЛА.....	14
1.5. Выбор модуля для передачи данных.....	19
1.6. Выбор рамы для БПЛА.....	21
1.7. Программное обеспечение.....	22
2. Технологическая часть.....	22
2.1. Сборка метеостанции.....	22
2.2. Сборка наземной станции.....	24
2.3. Написание программы.....	25
2.4. Сборка БПЛА.....	25
Заключение.....	26
Ссылки на источники.....	27

Введение.

Зондирование атмосферы (ЗА) - определение вертикального или горизонтального распределения температуры, влажности, давления, ветра и других физических параметров атмосферы. Наибольшее значение имеет вертикальное ЗА.

Методов вертикального ЗА существует много: зондирование с помощью радиозондов, оптическое — лучом лазера, акустическое (звуком), радиолокационное, ракетное и др. Радиозондирование представляет наиболее точные результаты непосредственных контактных измерений термодинамических параметров атмосферы на высотах от уровня земли до 35...40 км, поэтому данный вид зондирования является наиболее распространённым.

Эти данные содержат информацию о вертикальных профилях температуры, влажности, скорости и направлении ветра, а также о давлении воздуха на заданных уровнях. Для получения информации в атмосферу выпускаются в свободный полёт небольшие лёгкие измерительные приборы, снабжённые датчиками различных метеорологических параметров и радиопередатчиком. Такие приборы, называемые радиозондами, поднимаются до больших высот с помощью специальных латексных шаров (оболочек), наполняемых лёгким газом – водородом или гелием.

Радиозондирование до сих пор в мире является основным средством определения вертикального профиля ветра. Но радиозондирование, наряду с высокой стоимостью расходных материалов, имеет недостаток, связанный с редкой частотой выпуска радиозондов (выпускаются радиозонды одновременно во всём мире дважды в день в 00.00 и 12.00 мирового времени).

Учитывая, что ветровое поле может изменяться кардинально за несколько минут, такая низкая оперативность получения ветровых данных не устраивает многих потребителей. Так, например, при организации прыжков с парашютом, необходимо знание среднего ветра от поверхности земли до высоты десантирования. Для чего используется в настоящее время - шаропилотный теодолитный метод (суть метода: наблюдая за перемещением шара-пилота в аэрологический теодолит и зная его вертикальную скорость, исходя из угловых координат β и в местоположения шара на различных высотах подъема, определяется

направление и скорость его горизонтального перемещения. Поскольку шар-пилот перемещается вместе с воздушными течениями в атмосфере, полученные значения будут выражать скорость и направление ветра на высотах).

Данный метод имеет следующие существенные недостатки:

резкое снижение эффективности в тёмное время суток и в условиях низкой облачности;

громоздкость оборудования необходимого для проведения наблюдений (нужны баллоны с гелием или водородом);

необходимость проведения множества вычислений и как следствие большая вероятность ошибки.

Также быстро изменяется распределение температуры по высотам, которое необходимо знать для оценки условий распространения загрязняющих веществ в условиях крупного мегаполиса, прогноза тумана.

Так при наличии инверсии (роста температуры с высотой) образуется слой (рис.1), препятствующий вертикальным перемещениям воздуха и способствующий образованию дымки, тумана, смога, облаков, миражей.



Рисунок 1.

Целью данного проекта является создание метеостанции, поднимаемой в атмосферу при помощи беспилотного летательного аппарата (БПЛА), которая способна оперативно (в реальном времени) предоставлять пользователю

необходимую информацию о параметрах атмосферы от поверхности земли до заданной высоты.

В процессе разработки были поставлены следующие задачи:

- создание метеостанции, способной измерять и передавать на землю основные параметры атмосферы: температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, давление, высота нижней и верхней границ облачности
- изготовление наземной станции, способной принимать данные от метеостанции;
- написание программного обеспечения для сбора, обработки и архивирования полученных данных, а также предоставление их пользователю в удобном для него виде;
- проектирование и изготовление БПЛА, способного поднимать метеостанцию на заданную высоту.

Основная часть.

1. Аналитический раздел.

Для создания метеостанции было необходимо выбрать основу (платформу) и датчики.

1.1. Выбор платформы для создания метеостанции.

- Arduino UNO R3: контроллер построен на ATmega328 Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов, 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки.
- RobotDYN : Плата - бюджетный аналог Arduino UNO R3 от российского производителя и конструктивно практически идентична оригинальной

плате. В отличие от оригинала плата RobotDyn, имеет более распространенный разъем Micro USB.

- Teensy 3.6 : Teensy — это мощная Arduino-совместимая платформа для разработки в компактном форм-факторе. Главное отличие старших представителей версии 3.x — высокопроизводительный ARM-процессор Cortex-M4, большое количество памяти, встроенный слот для SD-карты и широкий набор интерфейсов.

Плата Arduino UNO R3 имеет все необходимые компоненты для обеспечения работы микроконтроллера. Благодаря наличию DIP панели, можно менять микроконтроллер. Данная плата выдерживает резкие перепады температур, имеет низкое энергопотребление, кроме этого является одной из самых распространённых в своём классе и для неё создано наибольшее количество уроков.

Характеристики Arduino UNO R3

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 мА
Флеш-память	32 Кб (ATmega328) из которых 0.5 Кб используются для загрузчика
ОЗУ	2 Кб (ATmega328)
EEPROM	1 Кб (ATmega328)

Тактовая частота

16 МГц

Выбор датчиков.

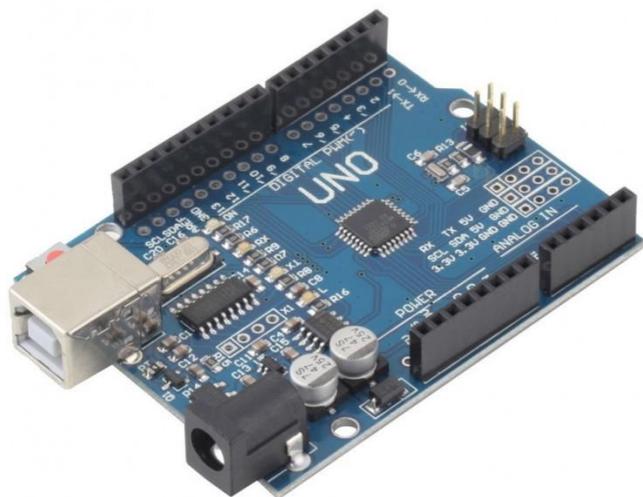


Рисунок 2. Arduino UNO R3.

1.2. Выбор датчиков.

При выборе датчиков основными характеристиками являлись точность измерений, устойчивая работа при низких температурах и пределы измерений. На основании этого были выбраны следующие датчики.

DHT-22 (также называемый AM2302) представляет собой датчик влажности и температуры с цифровым выходом, для измерения используется емкостной датчик влажности и термистор, все показания передаются по цифровой информационной шине.

- Технические параметры:
- Модель: DHT22
- Напряжение питания: 3.3 В ... 5 В
- Выходной сигнал: цифровой
- Чувствительный элемент: полимерный конденсатор
- Диапазон измерения влажности: 0 ... 100%, погрешность $\pm 2\%$
- Диапазон измерения температуры: -40°C ... $+80^{\circ}\text{C}$, погрешность $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

- Задержка: 2с
- Габариты: 15.1 мм x 25.1 мм x 7.7 мм

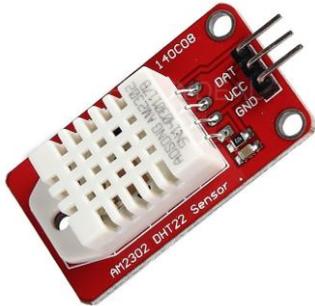


Рисунок 3. Датчик температуры и влажности DHT 22.

Спецификация BMP280:

- Напряжение питания модуля: 3,3 или 5 В постоянного тока (поддерживаются оба уровня).
- Потребляемый ток: до 2 мА во время измерений (зависит от режима точности).
- Потребляемый ток: до 0,2 мА в режиме ожидания.
- Измеряемое давление: от 30'000 до 110'000 Па (разрешение 0,16 Па)
- Измеряемая температура: от 0 до +65 °С (разрешение 0,01°С)
- Рабочая частота шины I2C: до 3,4 МГц.
- Адрес модуля на шине I2C: 0x77.
- Уровень логической «1» на шине I2C: от 0,7*Vcc до Vcc (где Vcc это напряжение питания модуля)
- Подготовка к первому запуску после подачи питания: не менее 2 мс.
- Рабочая температура: -40 ... +85 °С
- Габариты: 30x30 мм.

BMP280 (рис. 4) — это цифровой модуль на базе чипа BMP280, подключаемый по шине I2C (адрес 0x77), позволяющий получить текущие значения атмосферного давления и температуры окружающей среды. Еще одним

применением данного модуля является определений высоты, которая зависит от давления и рассчитывается по международной барометрической формуле. Точность Трета барометра позволяет фиксировать изменение высоты от 20 см.

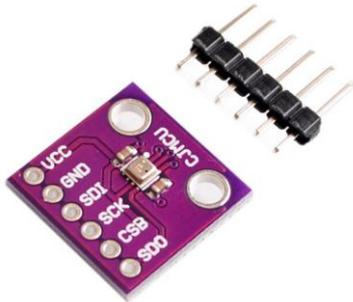


Рисунок 4. Датчик атмосферного давления BMP280.

HC-SR04 (рис. 5) - Ультразвуковой датчик для измерения расстояния и обнаружения предметов в диапазоне от 2 сантиметров до 4метров. В рамках данного проекта используется для измерения высоты нижней границы облачности.

Характеристики:

- Напряжение питания: 5 В
- Потребление в режиме тишины: 2 мА
- Потребление при работе: 15 мА
- Диапазон расстояний: 2–400 см
- Эффективный угол наблюдения: 15°
- Рабочий угол наблюдения: 30°

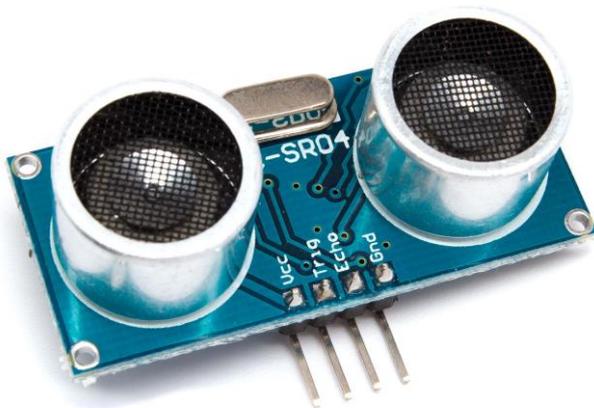


Рисунок 5. Датчик приближения HC-SR04.

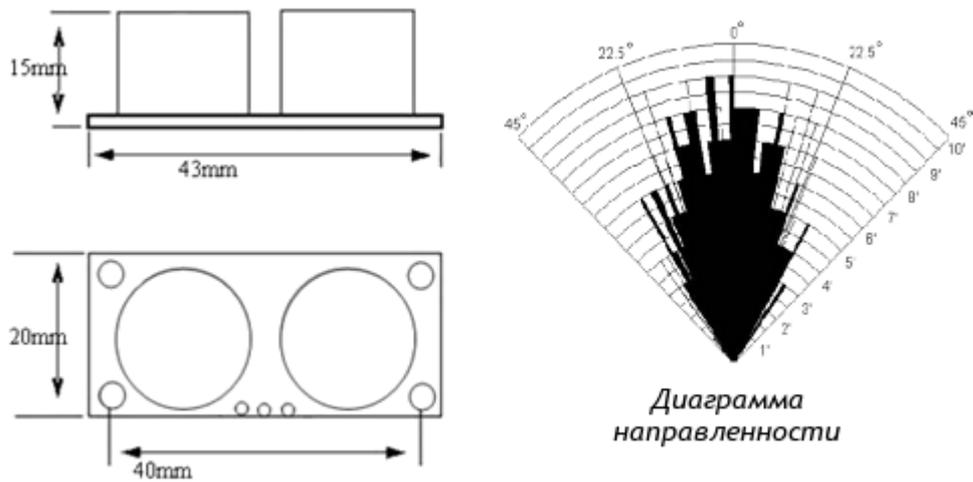


Рисунок 6. Размеры и диаграмма направленности HC-SR04.

Датчика скорости ветра

Характеристики:

- Точность: ± 1 м/с
- Начальный ветер: 0,2 м 0,4 м/с
- Диапазон: 0 ~ 32,4 М/s
- Выходные сигналы: 0-5 В
- Скорость ветра значения: $(\text{Выходное напряжение})/5 * 32,4$



Рисунок 7. Датчик скорости ветра.

Компас на LIS3MDL.

Характеристики:

- Напряжение питания: 3.3–5 В
- Диапазон погрешности измерения: $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ Гаусс
- Выходной интерфейс: I²C
- Частота обновления сигнала: 0.625...80 Гц
- Температурный диапазон: $-40...+85$ °С
- Габариты: 25×25 мм

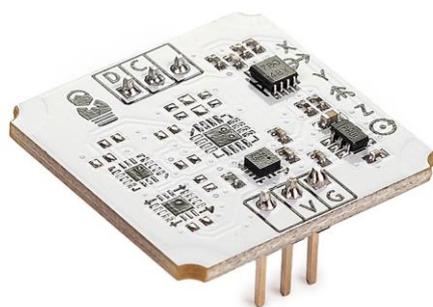


Рисунок 8. Магнитометр (компас) на LIS3MDL.

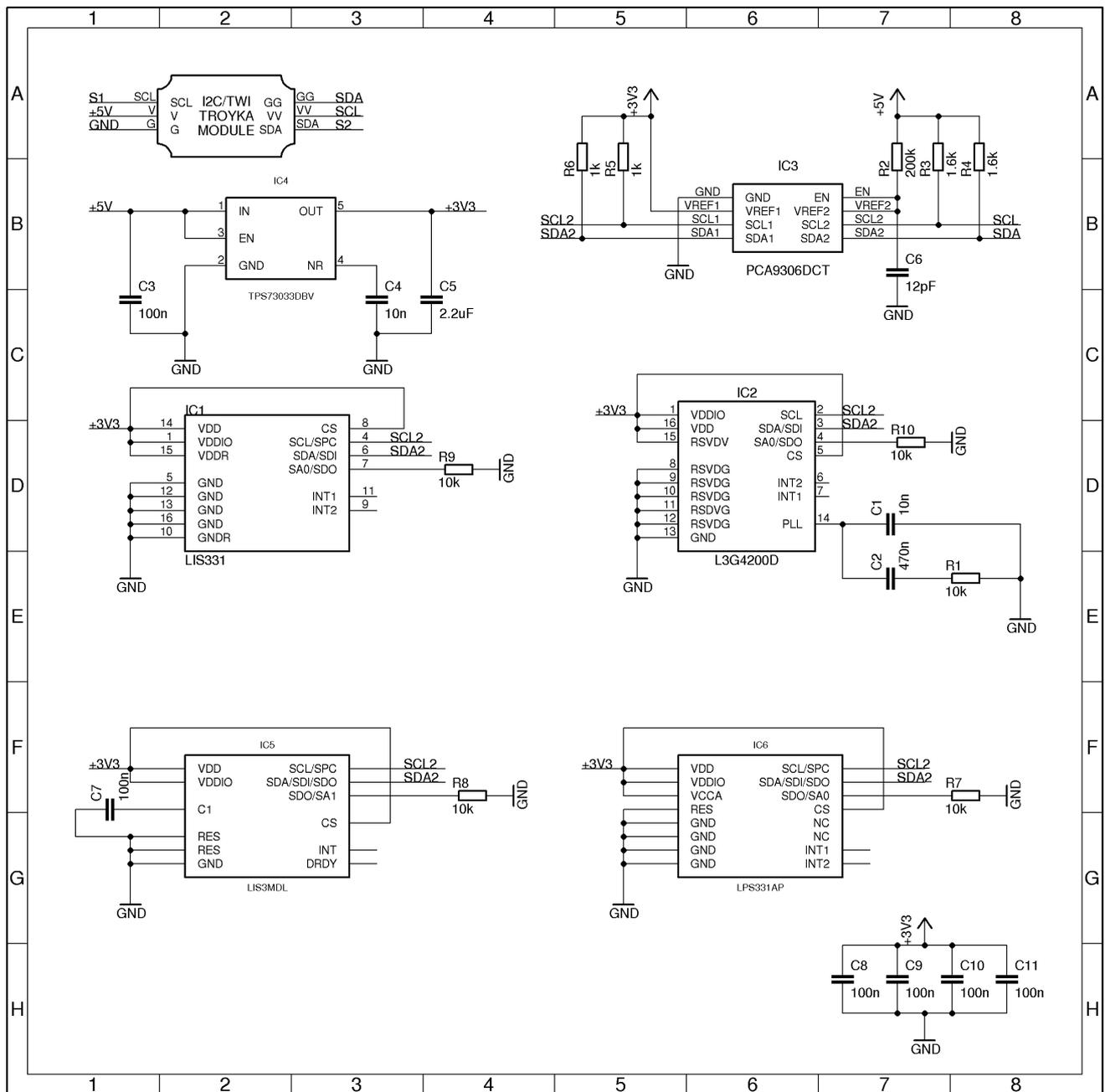


Рисунок 9. Принципиальная схема магнитометра.

1.3. Выбор основы для наземной станции.

Для основы наземной станции была выбрана плата Arduino Nano.

Nano – одна из самых миниатюрных плат Ардуино. Она является полным аналогом Arduino Uno – так же работает на чипе ATmega328P (хотя можно еще встретить варианты с ATmega168), но с меньшим форм-фактором. Из-за своих габаритных размеров плата часто используется в проектах, в которых важна компактность. На плате отсутствует вынесенное гнездо внешнего питания, Ардуино

работает через USB (miniUSB или microUSB). В остальном параметры совпадают с моделью Arduino Uno.

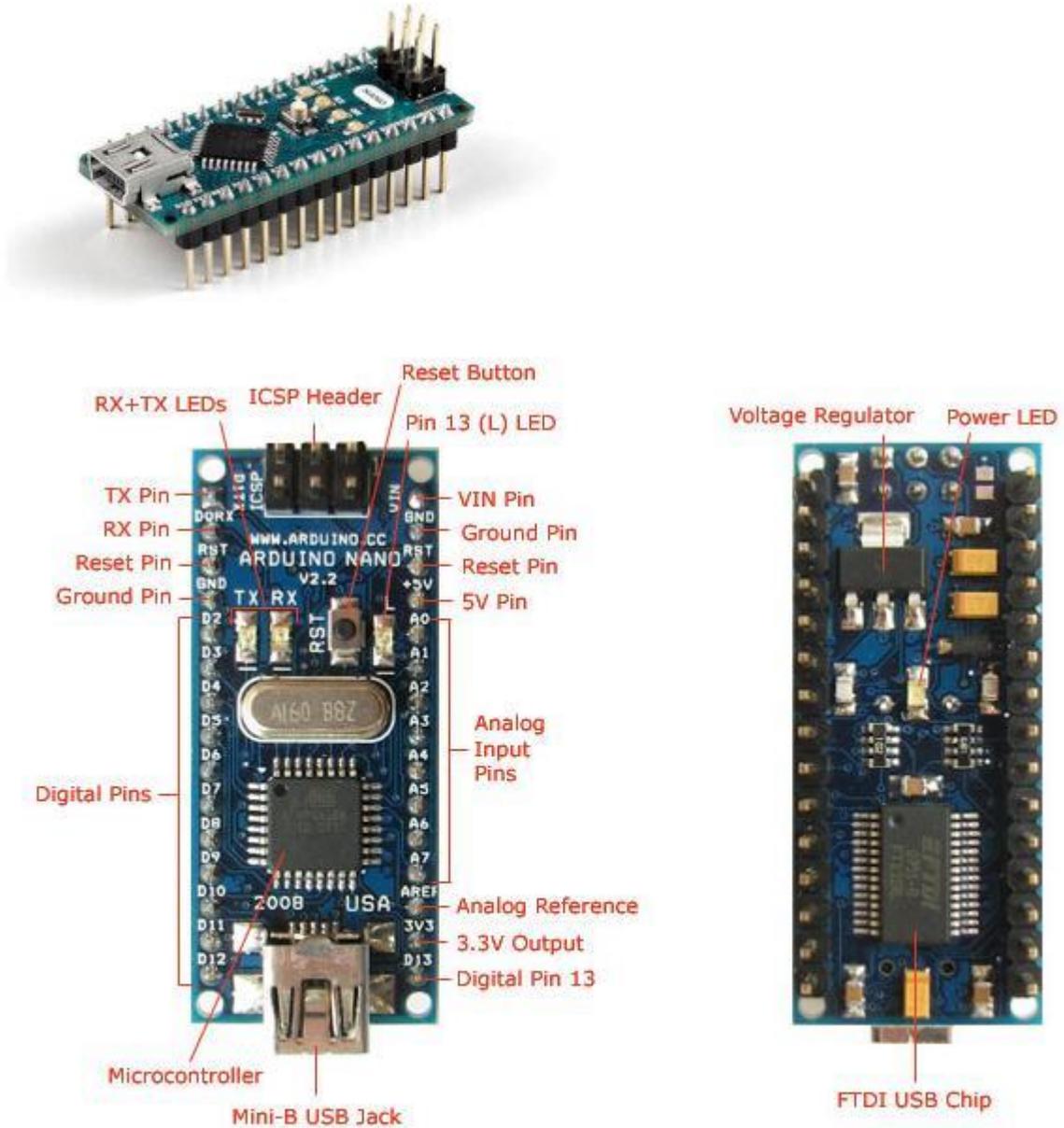


Рисунок 10. Arduino Nano.

Технические характеристики Arduino Nano:

- Напряжение питания 5В;
- Входное питание 7-12В (рекомендованное);
- Количество цифровых пинов – 14, из них 6 могут использоваться в качестве выходов ШИМ;
- 8 аналоговых входов;

- Максимальный ток цифрового выхода 40 мА;
- Флэш- память 16 Кб или 32 Кб, в зависимости от чипа;
- ОЗУ 1 Кб или 2 Кб, в зависимости от чипа;
- EEPROM 512 байт или 1 Кб;
- Частота 16 МГц;
- Размеры 19 x 42 мм;
- Вес 7 г.

1.4. Выбор полетного контроллера БПЛА.

Полетный контроллер ArduPilot Mega является полноценным решением БПЛА, который позволяет помимо радиоуправляемого дистанционного пилотирования - автоматическое управление по заранее созданному маршруту, т.е. полет по точкам, а также обладает возможностью двухсторонней передачей телеметрических данных с борта на наземную станцию (телефон, планшет, ноутбук, D1Y) и ведение журнала во встроенную память.

Данный контроллер является наиболее оптимальным решением в рамках данного проекта. Кроме того, возможность автоматического полета и передачи телеметрических данных позволяет полностью автоматизировать процесс измерения параметров атмосферы.

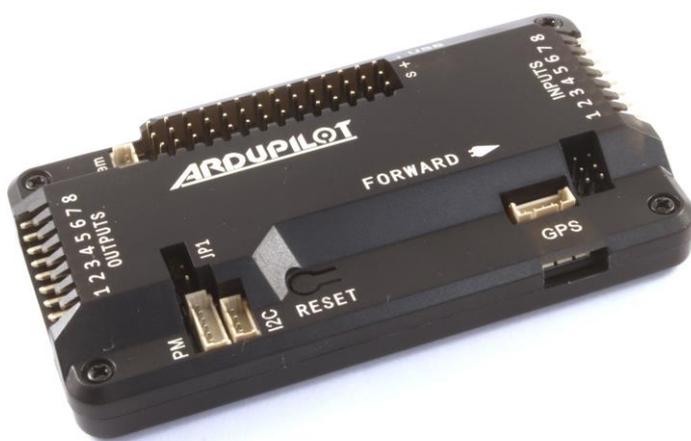


Рисунок 11. Полётный контроллер ArduPilot.

Сравнительная таблица №1. Преимущества автопилота Ardupilot Mega перед DJI NAZA, Wookoong-M, ZeroUAV (YS-X4,YS-X6), Mikrocopter, Hovefly Pro, uThree

CONTENTS	APM AUTOPILOT, GPS, POWER MONITOR, LONG-RANGE TELEMETRY	DJI (Naza w/GPS) AUTOPILOT, GPS, POWER MONITOR	DJI (WOOKONG-M WAYPOINT) AUTOPILOT, GPS, POWER MONITOR, TELEMETRY, 50 WAYPOINT PACKAGE	ZEROUAV (YS-X4 LOW END) AUTOPILOT, GPS, POWER MONITOR, TELEMETRY, 8 WAYPOINT PACKAGE	ZEROUAV (YS-X6 HIGH END) AUTOPILOT, GPS, POWER MONITOR, LONG-RANGE TELEMETRY, 16 WAYPOINT PACKAGE	MIKROKOPTER AUTOPILOT, GPS, POWER MONITOR, LONG-RANGE TELEMETRY, 100 WAYPOINT PACKAGE	HOVERFLY PRO w/GPS AUTOPILOT, GPS ONLY	UTHRE E (RUBY) AUTOPILOT, GPS
1	2	3	4	5	6	7	8	9
LIST PRICE	\$249	\$399	~\$3000	\$639	~\$2700	~\$2500	\$900	\$345
FULL AUTONOMY	Yes	RTL only	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
WAYPOINTS (# SUPPORTED)	166	1	50	8 w/in 500m (Navigator)	16 w/in 500m (Standard)	100 w/in 250m	1	1
IN-FLIGHT ROUTE EDITING	Yes	No	Yes	Guided Mode Only	Guided Mode Only	Yes	No	No
WARELESS CONFIGURATION	Yes (Radio Telemetry)	No	Yes (Bluetooth)	No	No	No	No	No

1	2	3	4	5	6	7	8	9
GEO-FENCE SUPPORT	Yes	No	No	No	No	No	No	No
ROBUST SIMULATION (HIL/SIL)	Both	No	HIL Only	No	No	SIL Only	No	No
OPEN SOURCE TOOLS AND CODE	Yes	No	No	No	No	No	No	No
OPEN SOURCE COMMUNICATION PROTOCOL	Yes (MAVLink)	No	No	No	No	No	No	No
TRICOPTER	Yes	No	No	No	No	No	No	No
QUADCOPTER (+ AND X)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
HEXACOPTER	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
OCTOCOPTER	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Y6	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No
X8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No
TRADITIONAL HELICOPTERS	Yes	No	Yes (Ace One)	No	No	No	No	No

1	2	3	4	5	6	7	8	9
FIXED-WING AIRCRAFT	Yes	No	No	No	No	No	No	Yes
ROVERS	Yes	No						
BOATS	Yes	No						

Особенности:

- 3 осевой гироскоп, акселерометр, магнитометр (до 2.5.2) и высокоточный барометр
- Система стабилизации с возможностью воздушной акробатики
- Удержание позиции по GPS, полет по точкам и возврат на точку старта
- Возможность использования инфракрасного датчика для обхода препятствий
- Поддержка ультразвукового датчика (Sonar sensor) для автоматического взлета и посадки
- Автоматическое следование по маршрутным точкам
- Управление двигателями посредством ШИМ (PWM) с использованием дешевых регуляторов скорости (ESC)
- Собственная система стабилизации для камеры (функция контроллера подвеса)
- Радиосвязь и телеметрия с борта
- Поддержка множества рам и конфигураций летающих и едущих аппаратов
- Поддержка датчика уровня заряда батареи
- Настраиваемая световая индикация при полетах
- Совместим с многими радиоуправляемыми приемниками PWM и PPM сигналов
- Передача в реальном времени телеметрических данных

- Поддержка OSD телеметрии (наложение на видеопередачу телеметрических данных) используя протокол MAVLINK
- Конфигурирования точек полета посредством Google Maps
- Бортовая флеш память 16Мбит для автоматической регистрации данных
- Цифровой компас работает на HMC5883L (до версии 2.5.2)
- 6 степеней свободы в InvenSense акселерометре , гироскоп MPU-6000
- Датчик барометрического давления обновлен до MS5611-01BA03 , от Measurement Specialties
- Контроллер Atmel ATmega2560-16AU и ATMEGA32U-2 чип для обработки и функции USB
- Возможна загрузка обновлений встроенного программного обеспечения и конфигурации

Режимы полетов:

- Стабилизация (Stabilize) - Удержание горизонта
- Удержание высоты (AltHold)
- Loiter - замри и слоняйся
- RTL (Return-to-Launch) - вернуться на точку старта
- Auto - выполнение заданного маршрута в автоматическом режиме
- Acro - акробатика
- Sport - для FPV
- Circle - облет по кругу, радиус задается. включая режим Panorama и ROI
- Drift - полет как у самолета
- Follow Me - следуй за мной, доступно при телеметрии со своей GPS
- Guided - указание пункта назначения, доступно в телеметрии
- Position - фиксация в воздухе с ручным газом взлета
- Land - автоматическая посадка
- Simple and Super Simple - легкий и суперлегкий полет, подходит для новичков
- Квадрокоптер летает за тобой, как AirDog, Нехо+ и другие экшен версии

1.5. Выбор модуля для передачи данных.

Основные условия при выборе модуля: возможность работы на большой высоте, вне зоны действия сотовых вышек, при низких температурах; надежная передача малых объемов данных на большое расстояние при низком энергопотреблении.

LoRa SX1278: современный RF модуль, работающий на частоте 433МГц и имеющий поддержку стандарта LoRa. Особенность стандарта LoRa — это передача небольших пакетов данных с невысоким энергопотреблением. По заверениям производителя, дальность на открытом воздухе может достигать 10км, а время работы от батареи может составлять несколько лет.

Данный модуль имеет уникальную в своем роде технологию, которая идеально подходит для передачи малых объемов данных по воздуху.

Таблица №2а. Характеристики модуля LoRa SX1278.

Параметр РФ	Значение	Примечание
Рабочая частота	410 ~ 441 МГц	По умолчанию: 433 МГц
Мощность передатчика	10 ~ 20 дБм	По умолчанию: 20 дБм (около 100 мВт)
Чувствительность приема	-146 дБм	Скорость передачи данных: 0,3 кбит/с
Скорость передачи данных воздуха	0.3к ~ 19,2 кбит/с	По умолчанию: 2,4 кбит/с
Тесты расстояние	3000 метра	В открытом и прозрачном воздухе, с максимальной мощностью, 5dBi усиление антенны, высота 2 м, Скорость передачи данных: 2,4 кбит/с

Таблица №2б. Характеристики модуля LoRa SX1278.

Параметр оборудование	Значение	Примечание
Размер	21*36 мм	Без SMA
Тип антенны	SMA-K	
Связь интерфейс	UART	Скорость передачи данных: 1200 ~ 115200, по умолчанию: 9600
Посылка	DIP	
Буфер	512 байт буфера	Автоматическая подупаковка с 58 байтами посылка

Таблица №2в. Характеристики модуля LoRa SX1278.

Электронный параметр	Мин.	Тип.	Макс.	Блок	Услови е
Мощность питания	2,3	3,3	5,5	V	
Связь уровня	3,0	3,3	3,6	V	
Передача ток	102	110	118	МА	20дбм (100 мВт)
	90	93	96	МА	10 дБм (50 мВт)
Получение текущей	12	15	18	МА	
Сна	3	5	8	МкА	
Рабочая температура	-40	20	+ 85	°С	
Рабочая влажность	10	60	90	%	
Температура хранения	-40	20	+ 125	°С	

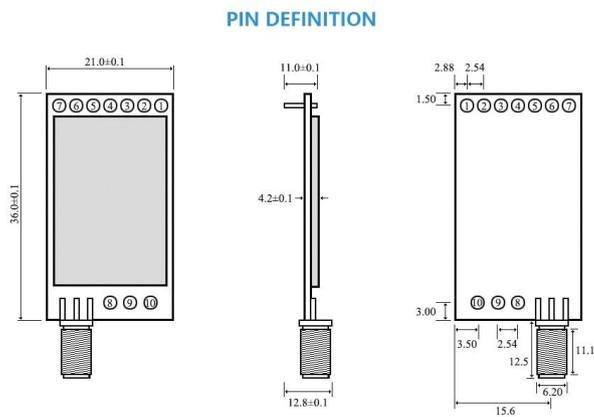


Рисунок 12. Распиновка модуля LoRa SX1278.



Рисунок 13. Модуль LoRa SX1278.

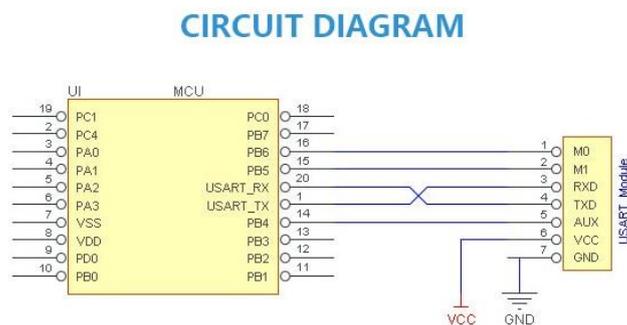


Рисунок 14. Схема модуля LoRa SX1278.

1.6. Выбор рамы для БПЛА.

Рама для БПЛА выбиралась исходя из её размеров, а именно расстояния между винтами, так как для работы датчика скорости ветра с минимальной погрешностью необходимо минимизировать влияние вертикальных потоков

воздуха, создаваемых лопастями квадрокоптера. В то же время она должна быть удобной для переноски.

Материал рамы – стекловолокно.



Рисунок 15. Рама F450 БПЛА.

1.7. Программное обеспечение.

Для написания программы был выбран язык C#, так как его поддерживает интегрированная среда разработки Visual Studio, благодаря которой можно удобно разработать простой и понятный интерфейс. Кроме того, она имеет множество встроенных библиотек, в том числе для работы с графиками и COM-портами.

2. Технологическая часть.

2.1. Сборка метеостанции.

При помощи монтажной платы к микроконтроллеру Arduino были присоединены датчик температуры и влажности воздуха, датчик атмосферного давления и датчик приближения. Датчик скорости ветра был подключён через конденсатор 100нФ и резистор 10кОм. Это необходимо для точных показаний.

Была написана программа для микроконтроллера и произведена проверка датчиков путем присоединения по COM-порту к ПК.

Метеостанция без корпуса изображена на рисунке 15.

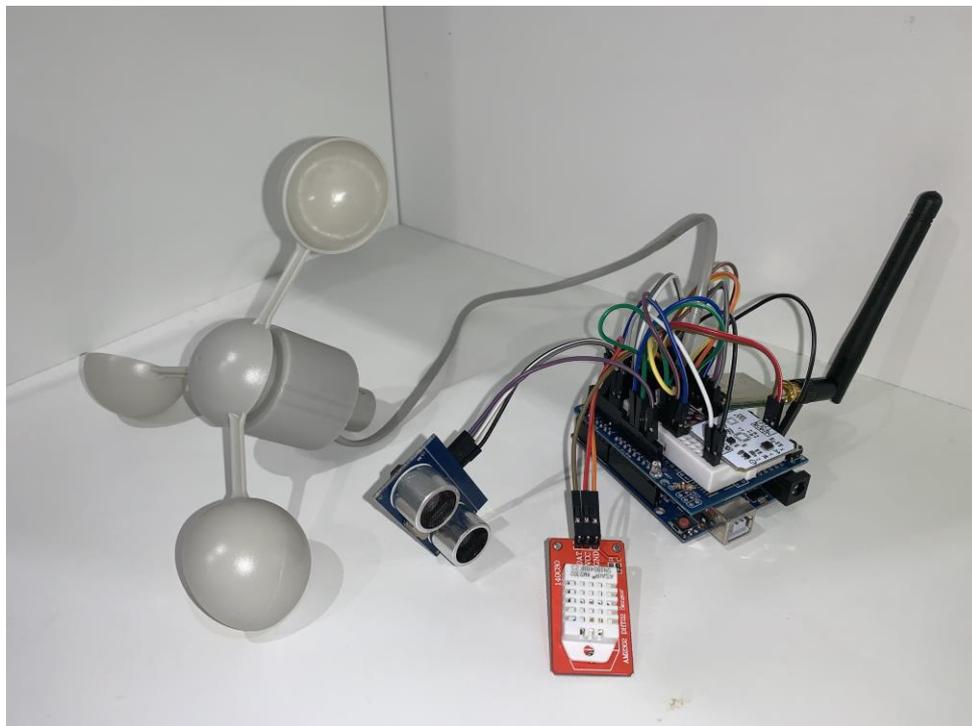


Рисунок 15. Arduino Uno с датчиками и модулем связи.

Далее была изготовлена 3D модель корпуса для метеостанции в виде флюгера. Такая форма была использована для того, чтобы корпус, вращаясь вокруг своей оси, являлся указателем направления ветра (рис. 16а, 16б).

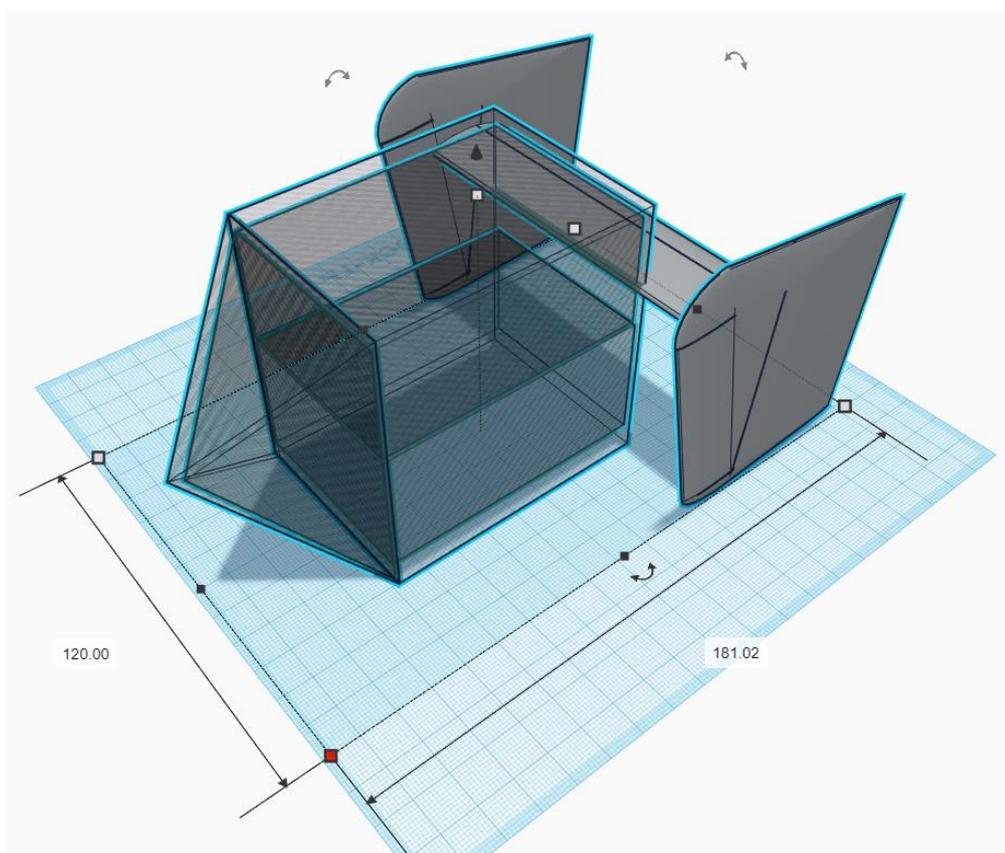


Рисунок 16а. Корпус метеостанции в разрезе.

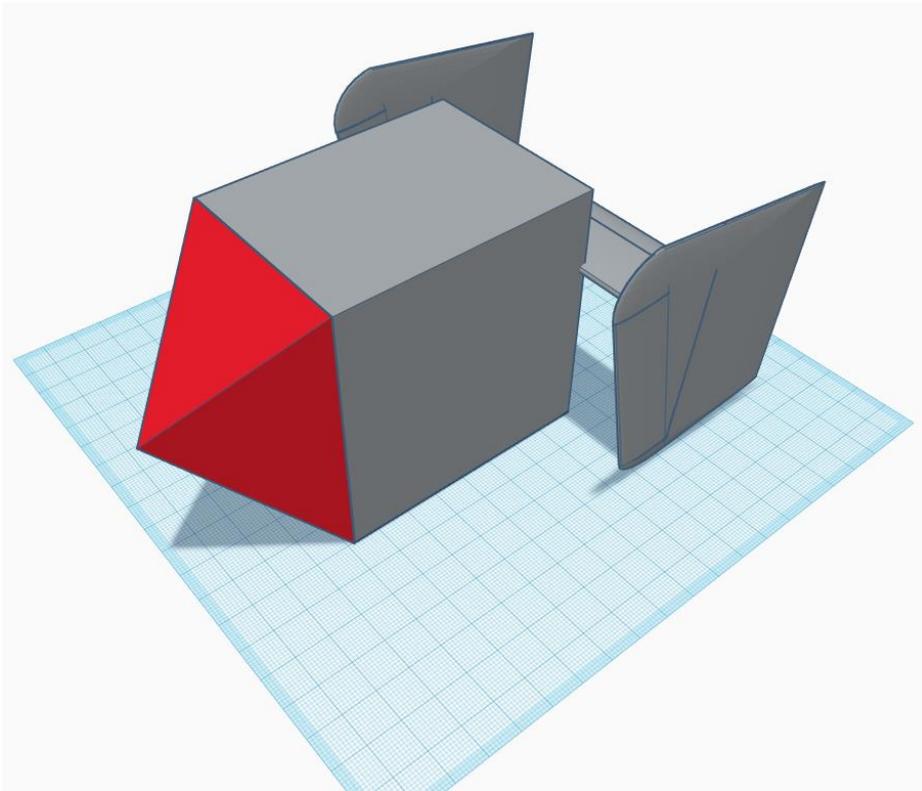


Рисунок 16б. Внешний вид корпуса метеостанции.

2.2. Сборка наземной станции.

Был присоединен модуль передачи данных к Arduino Nano. Была произведена проверка передачи данных с метеостанции на наземную станцию.



Рисунок 17. Наземная станция.

2.3. Написание программы

Была написана программа на языке C# и разработан удобный интерфейс в среде программирования Visual Studio.

В качестве базы данных был использован простой текстовый файл, так как доступ к данным осуществляется последовательно и объем данных сравнительно небольшой.

2.4. Сборка БПЛА.

На раму F450 были установлены полётный контроллер ArduPilot, бесколлекторные электродвигатели на 920 кВ, регуляторы напряжения на 30А, аккумулятор ZOP Power 11.1V 6300mAh 35C 3S Lipo Battery, обеспечивающий полет до 30 минут. Для удобства управления была установлена FPV (First Person View) система, состоящая из передатчика Eachine TS832 Boscam FPV 5.8G 48CH 600mW и малогабаритной камеры и GPS модуль для полета по точкам (координатам).



Рисунок 18. БПЛА в сборе.

Заключение.

В процессе разработки поставленные цели были достигнуты. Был изготовлен беспилотный летательный аппарат с метеостанцией, способный производить вертикальное зондирование атмосферы путем передачи её основных параметров: температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, давления, высоты нижней и верхней границ облачности.

В процессе работы над проектом в него были внесены некоторые дополнения, метеостанция была изготовлена как самостоятельное устройство, способное передавать данные не только будучи установленной на БПЛА, но и самостоятельно. Этого удалось достичь путем установки дополнительного питания. Таким образом, метеостанция может использоваться как самостоятельное устройство без БПЛА для наблюдения за параметрами атмосферы в приземном слое.

Возможности применения.

Данное устройство может быть использовано для решения следующих задач:

- Определение наличия инверсии для оценки условий распространения загрязняющих веществ в условиях крупного мегаполиса, прогноза тумана.
- Определение среднего ветра от поверхности земли до заданной пользователем высоты.
- Определение наличия сдвига ветра в приземном слое атмосферы.
- Измерение основных параметров атмосферы у поверхности земли.

Дальнейшее развитие системы:

- Возможность определять точку десантирования, с отображением её на карте.
- Осуществление автоматизированных полетов от поверхности земли до заданной пользователем высоты.

Ссылки на источники.

1. Виктор Петин. Проекты с использованием контроллера Arduino, 2-е издание - БХВ-Петербург, 2015 г.
2. Улли Соммер. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino- БХВ-Петербург, 2012 г.
3. Теро Карвинен, Киммо Карвинен, Вилле Валтокари. Делаем сенсоры. Проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi – Вильямс, 2015 г.
4. Валерий Яценков. Электроника. Твой первый квадрокоптер. Теория и практика - БХВ-Петербург, 2017 г.
5. В. Н. Киселев, А. Д. Кузнецов. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы) - РГГМУ Санкт-Петербург, 2004 г.
6. В.В.. Стерлядкин, А.Г. Горелик, Г.Г.Щукин. Обзор методов и средств ветрового зондирования атмосферы – МГУПИ, МФТИ, ВКА им. Можайского, 2011 г.
7. Сравнение AtduPilot с аналогами. <http://ardupilot.su>
8. Дальномер <http://wiki.amperka.ru/продукты:hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-module>
9. Датчик давления BMP280 <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/datchiki-atmosfernogo-davleniya-bmp280-bmp180-bme280/>
10. Датчик температуры и влажности воздуха DHT22 <http://robotchip.ru/obzor-datchika-temperature-i-vlazhnosti-dht22/>
11. Компас <http://wiki.amperka.ru/продукты:troyka-compass>
12. Электродвигатели, регуляторы напряжения <https://m.aliexpress.com/item/32837080614.html>
13. Модуль связи <https://m.aliexpress.com/item/32791728376.html>
14. Датчик скорости ветра <https://m.ru.aliexpress.com/item/32711809008.html>
15. Рама F450 <https://m.aliexpress.com/item/32609712090.html>