**«Воздушно-инженерная школа»**

**РЕГУЛЯРНАЯ ЛИГА**

**Команда СПОРАДИК-3, г. Курск, ЮЗГУ**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Руководитель: Якин Михаил Вячеславович

**Курск 2022 г.**

**Оглавление**

[1. Состав команды 2](#__RefHeading___Toc845_1109136018)

[2. Технические задачи 3](#__RefHeading___Toc847_1109136018)

[2.1 Основная миссия 3](#__RefHeading___Toc849_1109136018)

[2.2 Дополнительные исследовательские миссии 3](#__RefHeading___Toc851_1109136018)

[2.3 Дополнительные технические решения 3](#__RefHeading___Toc853_1109136018)

[3. Исследовательские задачи 4](#__RefHeading___Toc855_1109136018)

[3.1 Сравнение антенн 4](#__RefHeading___Toc857_1109136018)

[3.2 Проверка двигателя 5](#__RefHeading___Toc859_1109136018)

[4. Расчёт и сравнение характеристик двигателя 5](#__RefHeading___Toc861_1109136018)

[5. Система спасения 6](#__RefHeading___Toc863_1109136018)

[6. Моделирование 7](#__RefHeading___Toc865_1109136018)

[6.1 Обший вид корпуса 8](#__RefHeading___Toc867_1109136018)

[6.2 Верхняя часть 9](#__RefHeading___Toc869_1109136018)

[6.3 Крышка верхней части 10](#__RefHeading___Toc871_1109136018)

[6.4 Нижняя часть 11](#__RefHeading___Toc873_1109136018)

[6.5 Модуль с аккумулятором 12](#__RefHeading___Toc875_1109136018)

[6.6 Предварительный расчет массы спутника 13](#__RefHeading___Toc877_1109136018)

[7. Электроника 13](#__RefHeading___Toc879_1109136018)

[7.1 Принципиальная схема 14](#__RefHeading___Toc881_1109136018)

[7.2 Преобразователь напряжения 15](#__RefHeading___Toc883_1109136018)

[7.3 Sony VTC6 18650 17](#__RefHeading___Toc885_1109136018)

[7.4 ATMega128A (основной МК) 18](#__RefHeading___Toc887_1109136018)

[7.5 Плата Датчиков 20](#__RefHeading___Toc889_1109136018)

[7.7 Дополнительная нагрузка 25](#__RefHeading___Toc891_1109136018)

[7.8 Структурная схема 30](#__RefHeading___Toc893_1109136018)

[8. Программирование 31](#__RefHeading___Toc895_1109136018)

[8.1 Средства разработки, компиляции, интерпретации и прошивки 31](#__RefHeading___Toc897_1109136018)

[8.2 Алгоритмы работы аппарата 32](#__RefHeading___Toc899_1109136018)

[8.3 Алгоритмы работы «Watchdog» 34](#__RefHeading___Toc901_1109136018)

[8.4 Алгоритмы работы приёмной станции 36](#__RefHeading___Toc903_1109136018)

[9. Список литературы 37](#__RefHeading___Toc905_1109136018)

# 1. Состав команды

Гарагуля Артур Максимович (16 лет) – программист

Корягин Кузьма Борисович (15 лет) – инженер-электроник

Спиваков Никита Сергеевич (14 лет) – ЗD моделист

**Руководитель – Якин Михаил Вячеславович**

# 2. Технические задачи

## 2.1 Основная миссия

1. Разработка и изготовление обучающего “спутника” на основе единого конструктора;
2. Пайка, тестирование и интегрирование электронных модулей;
3. Программирование микроконтроллера для выполнения миссий полёта;
4. Расчёт и создание системы спасения;
5. Проведение испытаний спутника;

## 2.2 Дополнительные исследовательские миссии

1. Разработка приёмной станции и антенно-фидерного устройства биквадрат. Сравнение собственной антенны с промышленной патч-антенной;
2. Расчёт и сравнение реальных характеристик твердотопливного порохового ускорителя РД-300;

## 2.3 Дополнительные технические решения

1. Определение местоположения аппарата при помощи глобальной системы позиционирования (GPS);
2. Запись телеметрии и событий на карту SD для максимизации количества телеметрии;
3. Реализация внешней системы “Watchdog” для защиты от непредвиденных зависаний;
4. Разработка системы индикации на RGB-светодиоде для проверки заряда в полевых условиях и индикации операций;

# 3. Исследовательские задачи

## 3.1 Сравнение антенн

Цель задачи: Создать и сравнить антенно-фидерное устройство собственного производства типа биквадрат с патч-антенной промышленного производства.

Для любительских радиосеансов с космосом есть перечень необходимого оборудования, где антенны занимают важнейшую позицию. От характеристик и типа антенны зависит не только качество связи и её дальность, но и область её применения. Нами был разработан прототип антенны биквадрат для связи на частоте 2.4ГГц. Проверка такой антенны на земле не даст такого же количества информации, сколько даст тестовый сеанс с реальным лётным аппаратом.

Для сравнения так же будет использоваться патч-антенна промышленного производства, работающая на аналогичной частоте. Сравнив обе антенны в одинаковых условиях ведения радиосвязи мы сможем проверить возможность использования бюджетных антенн для спутниковой радиосвязи.

Чтобы произвести сравнение, необходимо создать назменую приёмную станцию. В нашем случае для этого будет использоваться Raspberry PI 4. Размер микрокомпьютера предоставит необходимую компактность. Благодаря наличию программируемых пинов можно реализовать любой программный интерфейс, с помощью которого будут сниматься данные с приёмников антенн. Таким образом кроме телеметрии, принятой организатором, мы получим телеметрию каждой из антенн и телеметрию аппарата на карте памяти.

## 3.2 Проверка двигателя

Цель задачи: Расчёт и сравнение реальных характеристик РД-300 от заявленных.

Второй исследовательской задачей является проверка двигателя РД-300. Решение о проверке принято из-за ранее состоявшихся запусков на этом двигателе, где расчётная высота сильно отличалась от ожидаемой. Проверив на нашем полёте мы сможем выявить отличие заявленных производителем характеристик от реальных.

# 4. Расчёт и сравнение характеристик двигателя

Сравнение будет происходить с данными характеристиками:

* Общий импульс = 330 Hc
* Средняя тяга = 145 Н
* Максимальная тяга = 189 Н
* Время горения = 2.27 сек

Характеристики нашего двигателя будут расчитываться по таким формулам:

* Общий импульс — сумма импульсов во все промежутки времени(пакетов). Расчитывается по формулам: p = p1 + p2 + … + pn ; pn = mv ; v = at – vпрош
* Средняя тяга — среднее арифметическое из значения тяги в каждый момент времени(каждый пакет). Формулы: Fср = (F1 + F2 + … + Fn) / n ; F = ma
* Максимальная тяга — максимальное значение тяги среди промежутков времени(пакетов). Формула: Fмакс = mv
* Время горения — промежуток между началом повышения ускорения и достижением его нуля — t

Сравнение будет происходить после запуска по таблице:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | p | Fср | Fмакс | t |
| Расчитанные |  |  |  |  |
| Заявляемые | 330 | 145 | 189 | 2.27 |

Таб. 1. Таблица сравнения характеристик двигателя

# 5. Система спасения

Системой спасения является парашют. Выброс парашюта происходить сразу после разделения спутника от ракетоносителя. Расчет парашюта дан только по формулам, так как материальная модель еще не готова, и реальный вес неизвестен. Расчет парашюта:

S = (2\*M\*g)/(Cd\*Ro\*V2); где:

S = площадь парашюта

Cd = коэффициент сопротивления парашюта

Ro = плотность воздуха

g = ускорения свободного падения

V = желаемая скорость спуска

После расчета площади мы можем расчитать диаметр парашюта и отверстия в нем по формулам:

S = π(R2-r2), где

R = радиус парашюта

r = радиус отверстия

R = 15r, следовательно:

S = π \* 225r2

r = корень из S/≈709.64

# 6. Моделирование

Корпус спутника выполнен в программе Компас-3D и будет напечатан на 3д-принетер при помощи пластика.

## 6.1 Обший вид корпуса

Корпус состоит из основных 3 частей, которые соединяются между собой винтами. Габариты спутника — 66dx200, что соответствует регламенту.

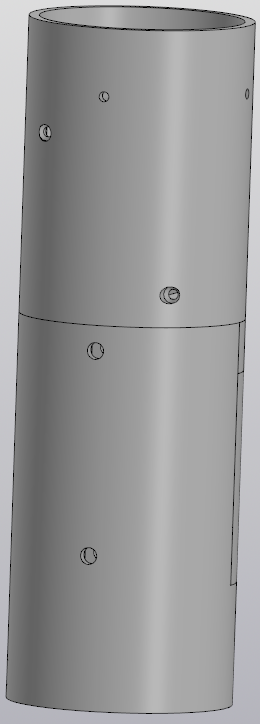
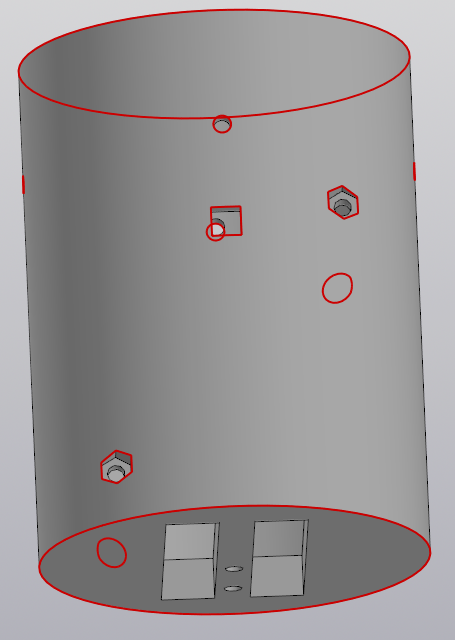
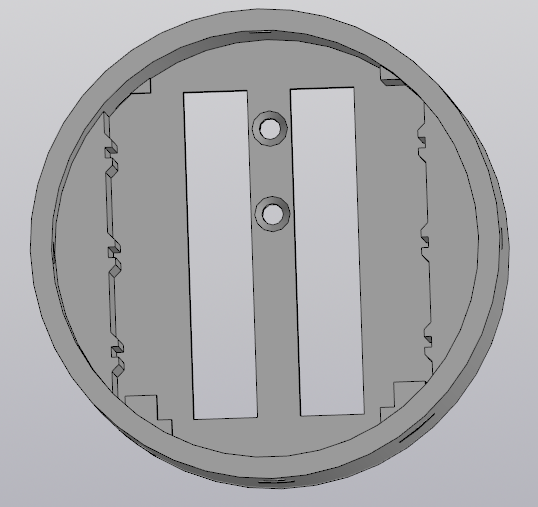
****

Рис. 1. Общий вид корпуса

## 6.2 Верхняя часть

Рис. 2. Верхняя часть корпуса

Верхняя часть спутника вмещает в себя платы основной миссии. Так как на таких платах невозможно конструкция соединениях их джамперами, они спаиваются между собой проводами. Платы вставляются в разъемы на 1 фотографии. Также платы крепятся 2 винтами, проходящими сквозь отверстия плат. Квадратное отверстие выше служит в центре на фотографии 2 служит для размещения RGB светодиода. Прямоугольные отверстия снизу служат для проводки проводов к нижним модулям.

## 6.3 Крышка верхней части

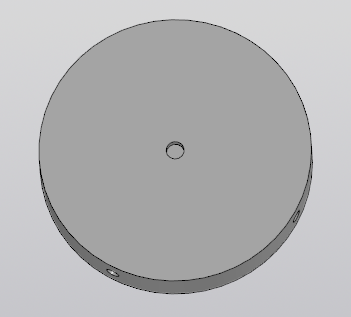
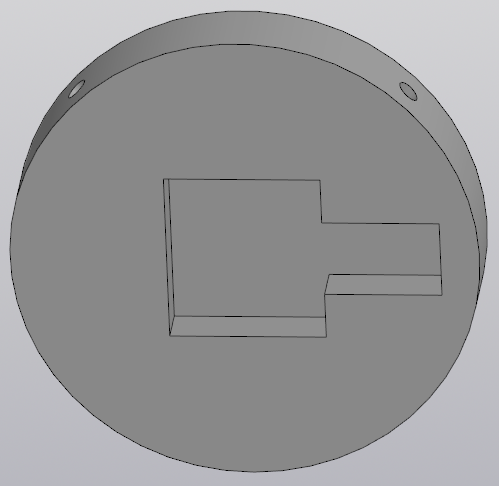


Рис. 3. Крышка верхней части корпуса

Данная крышка служит не только для закрытия отсека с основными платами, но также вмещает в себя gps модуль(1 фото) и отверстия для крепления карабина, за который будет прикрепляться парашют. Также имеет 4 отверстия для винтов, используются в качестве крепления.

## 6.4 Нижняя часть

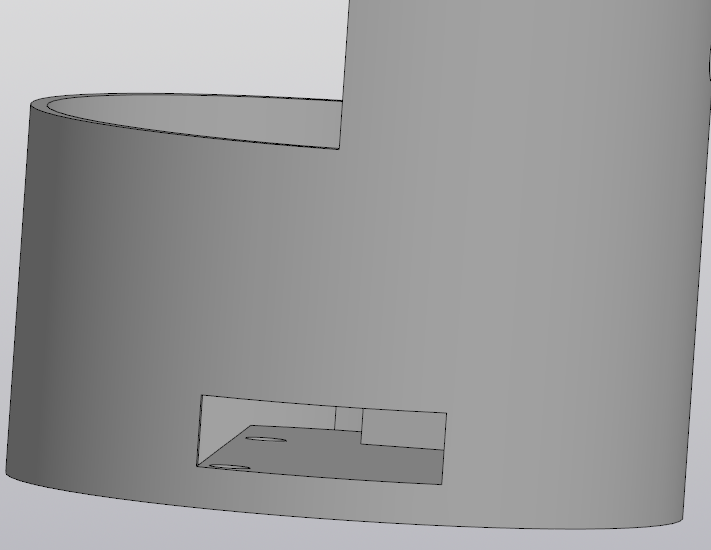
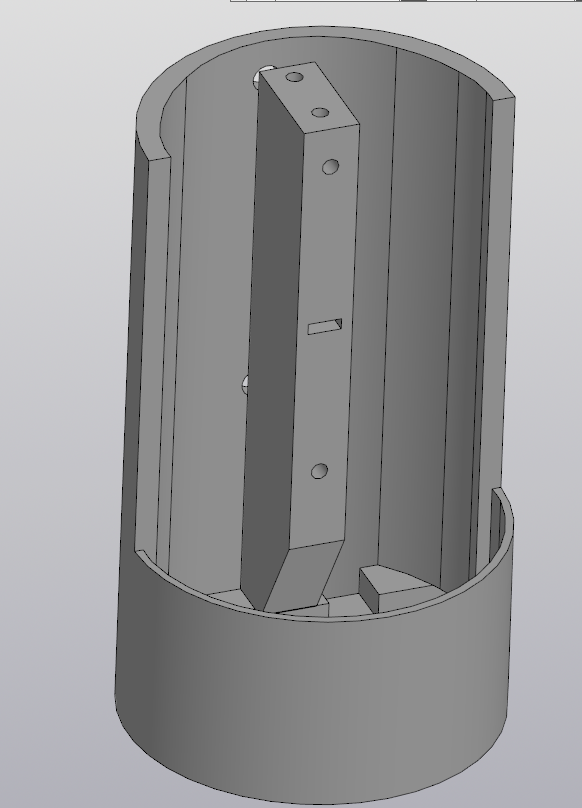
****

Рис. 4. Нижняя часть корпуса

Нижняя часть используется для соединения всех модулей спутника. Также в ней расположены модуль SD-карты(фото 2) и микроконтроллер Atiny13. Имеет 2 отверстия и разъема для винтов для крепления верхней части и 2 отверстия для крепления модуля с аккумулятором.

## 6.5 Модуль с аккумулятором

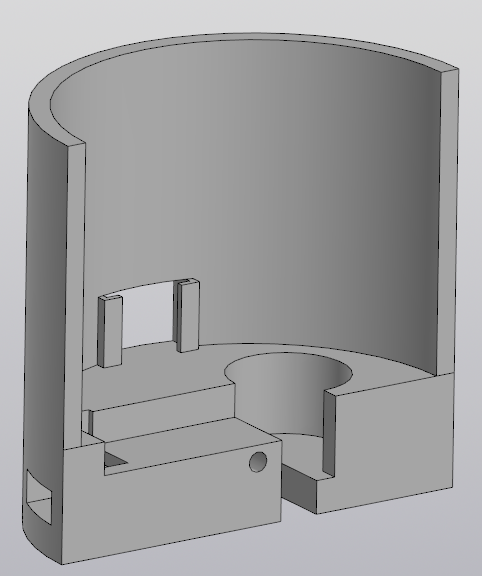
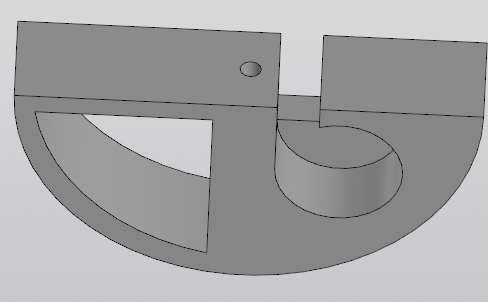
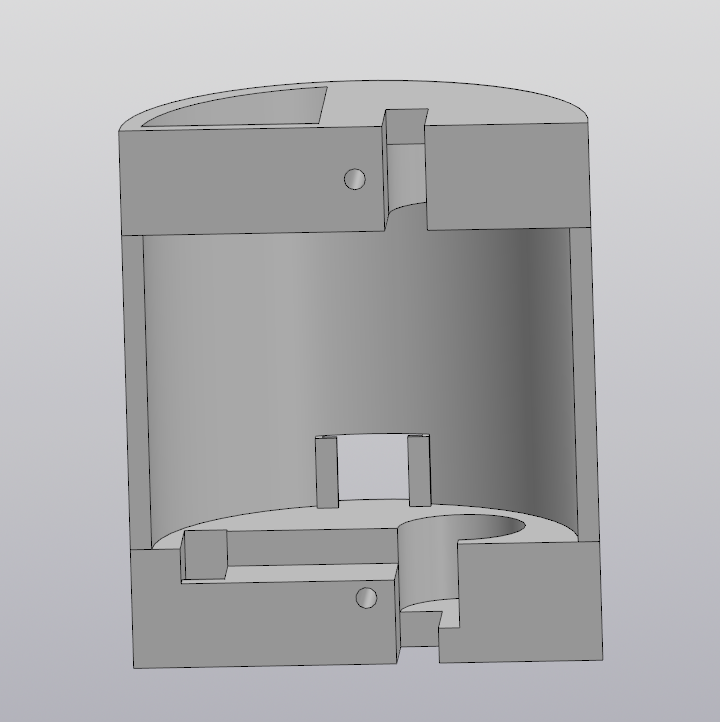
****

Рис. 5. Модуль с аккумулятором

Он состоит из двух частей. Круглые отверстия нужны для размещения аккумулятора. Также к этим отверстиям сделаны вырезы для проводки питания и земли. Квадратное отверстие сбоку используется для зарядки аккумулятора. Квадратное отверстие спереди используется для размещения кнопки включения аппарата. Также модуль имеет 2 отверстия под винта и 2 под гайки, чтобы прикрепить его к нижней части.

## 6.6 Предварительный расчет массы спутника

|  |  |
| --- | --- |
| Составляющие | Вес(г) |
| Корпус | 190 |
| Платы(основная и дополнительная миссия) | 65 |
| Аккумулятор | 47 |
| Крепления и прочее | 20 |
| Итог: | 322 |

Таб. 2. Таблица массовых характеристик

# 7. Электроника

Для создания схем использовался редактор EasyEDA. Этот редактор имеет возможность добавить практически любой компонент, загрузив его или создать свой. Программа ориентирована на любительскую схематику и предоставляет достаточно простой, но в то же время полезный функционал. Для расчёта антенн взята радиолюбительская программа Mmana, позволяющая расчитывать характеристики антенн.

## 7.1 Принципиальная схема

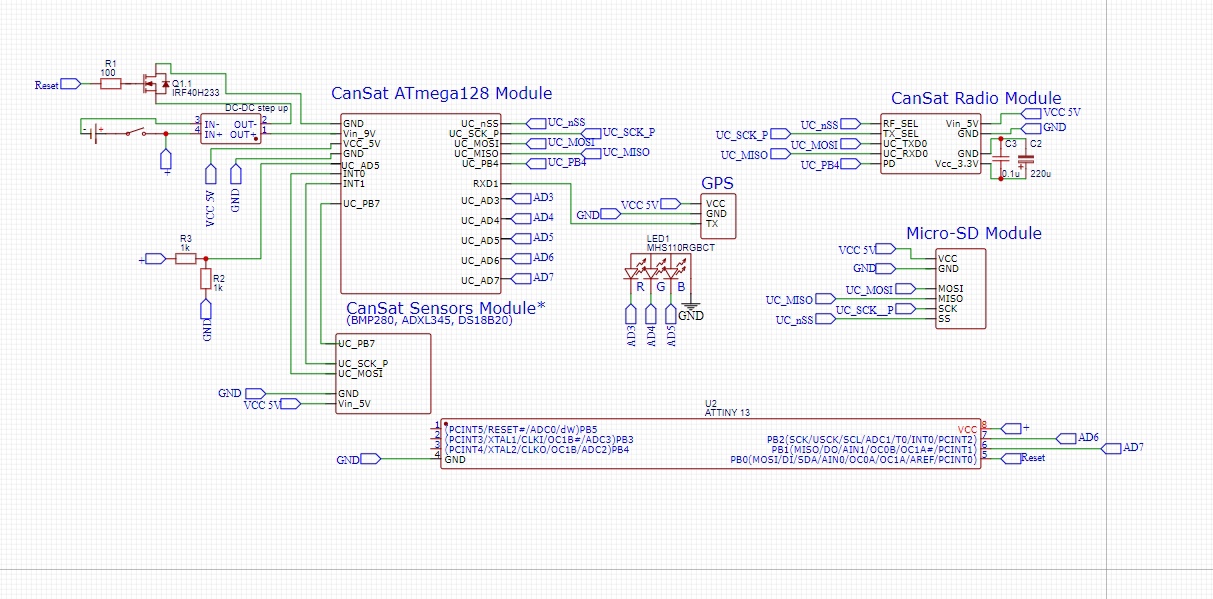


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема

Питание: Напряжение 4.2 от аккумулятора через выключатель после которого питание расходится на резестивный делитель и преобразователь напряжения SX1308. После чего преобразователь повышает его до 9 вольт которые расходятся далее на плату микроконтроллера ,плату датчиков, плату RF модуля и плату GPS.

**Интерфейсы:**

* I2C: ADXL345, BMP180;
* SPI: nRF24L01, HW125;
* OneWire: DS18B20;
* UART1: BN-220, вывод данных;
* 3 pins PWM: RGB-светодиод;
* 2 digital pins: Коммуникация с ATTiny13

## 7.2 Преобразователь напряжения

Наша команда использует импульсный повышающий преобразователь напряжения SX1308Изображение выглядит как текст, электроника

Автоматически созданное описание

Рис. 7. Преобразователь напряжения

**Характеристики:**

* Встроенный транзистор мощностью 80 mΩ
* Входное напряжение от 2 В до 24 В
* Фиксированная Частота переключения 1,2 МГц
* Внутренний Предел Тока переключателя 4A
* Регулируемое Выходное Напряжение
* Внутренняя Компенсация
* Выходное напряжение до 28 В
* Автоматическая Частотно-Импульсная Модуляция
* Режим при небольших нагрузках
* КПД до 96%
* Доступен в 6-контактном корпусе SOT23-6

Данный преобразователь поднимает напряжение одного аккумулятора 18650 с 3.7 вольт до 9 вольт, он необходим, т.к плата контроллера Atmega 128 питается напряжением от 5 до 9 а диапазон напряжений аккумулятора 18650 от 2.5 (в некоторых случаях от 3 вольт) до 4.2 вольт.

На преобразователе было выставлено нужное напряжение, после чего замерили сопротивление подстрочного резистора, и заменили его на обычный резистор с постоянным сопротивлением.

Чтобы избежать помех и других пульсаций по линии питания был установлен дополнительный конденсатор на 0.1 µf

## **7.3 Sony VTC6 18650**



Рис. 8. Аккумулятор

**Характеристики:**

* Тип: Li-Ion, незащищенный, плюсовой контакт плоский
* Типоразмер: 18650
* Емкость: 3000 mAh
* Напряжение номинальное: 3,7В
* Максимальное напряжение: 4,2В
* Максимальный ток отдачи: 30A
* Диаметр: 18 мм
* Длина: 65 мм
* Время заряда: ~3ч (зависит от спецификации зарядного устройства)
* Производитель: Sony

## 7.4 ATMega128A (основной МК)

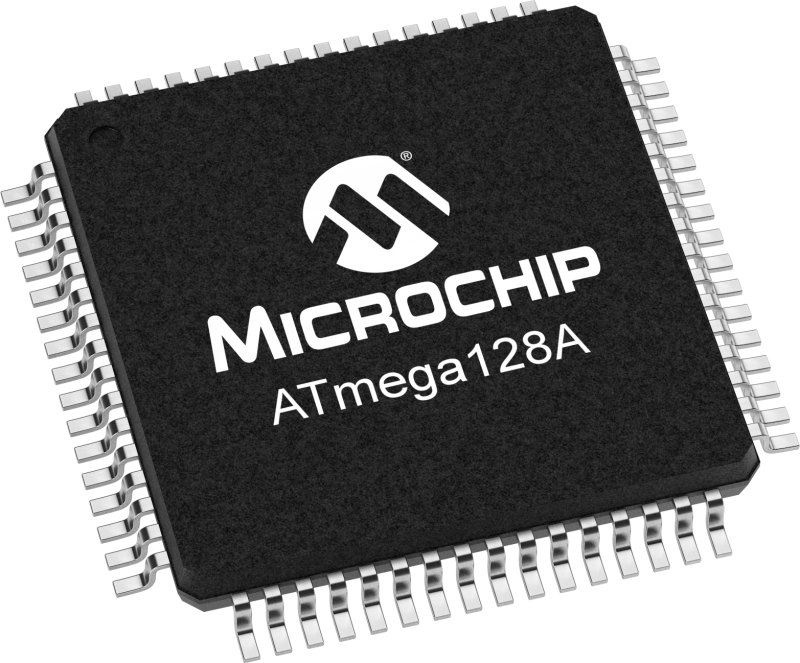
****

Рис. 9. Микроконтроллер ATMega128a

ATMega128a маломощный 8-разр. КМОП микроконтроллер, основанный на расширенной AVR RISC-архитектуре. За счет выполнения большинства инструкций за один машинный цикл ATMega128a достигает производительности 1 млн. операций в секунду/МГц, что позволяет проектировщикам систем оптимизировать соотношение энергопотребления и быстродействия.

**Характеристики:**

* Ядро: avr
* Ширина шины данных: 8 бит
* Тактовая частота: 8 Мгц
* Память программ: 128 Кб FLASH
* Энергонезависимое хранилище: 512 Байт EEPROM
* SRAM: 2 Кб
* Питание: 4.5 — 5.5В

## **7.5 Плата Датчиков**

На плате датчиков находятся 3 датчика:датчик температуры в лице DS 1820, Акселерометр ADXL345,и Барометра BMP 280.

**Термометр DS 1820**

На нашей плате данный датчик исполнен в корпусе TO-92



Рис. 10. Датчик температуры

DS18B20 – высокоточный цифровой датчик температуры. Может выдавать данные с точностью до сотой градуса. Интерфейс связи — OneWire, в случае с ATMega128a — программный. Используется максимальная точность данных (12 бит) с интервалом обновления 750 миллисекунд, так как имеется дополнительный датчик температуры на BMP280.

**Характеристики:**

* Диапазон: -55.. 125 °C
* Точность: до 0.5 °C
* Разрешение: 9.. 12 бит (0.48.. 0.06 °C)
* Питание: 3-5.5V
* Период выдачи результата:
  + 750 мс при точности 12 бит
  + 94 мс при точности 9 бит
* Интерфейс связи: 1-Wire (OneWire)

**Акселерометр ADXL345**

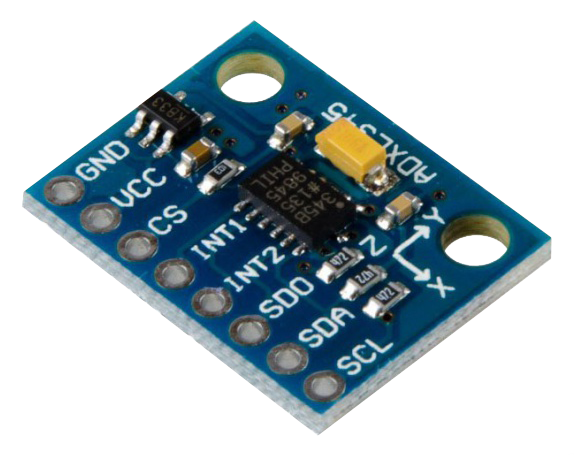


Рис. 11. Акселерометр ADXL345

Акселерометр ADXL345 является дешёвым и одновременно удобным в использовании, точным датчиком ускорений по трём осям. В нашем случае подключается интерфейсом I2C, чтобы не перегружать шину данных SPI и для повышения надёжности путём освобождения контактов пинов от лишней пайки.

**Характеристики:**

* Диапазон рабочих напряжений питания: 2,0…3,6 В
* Ток потребления в рабочем режиме 40…150 мкА, в зависимости от частоты опроса
* Разрешающая способность 10—13 разрядов (при измерении ускорения ±16g)
* Рабочий диапазон температур: –40…85°С
* Интерфейс: SPI или I2C
* Корпус LGA размером 3×5×1 мм

**Барометр BMP 280**



Рис. 12. Датчик давления и температуры

BMP280 является датчиком давления. На борту имеет встроенный датчик температуры. Подключён при помощи шины данных I2C по тем же причинам, что и ADXL345. В нашем случае данные считываются тремя байтами температуры и шестью байтами давления.

**Характеристики:**

* Напряжение питания: от 1.71 В до 3.6 В
* Макс скорость I2C интерфейса: 3.4 МГц
* Потребляемый ток: 2.7 мкA при частоте отсчетов в 1 Гц
* Интерфейсы: I2C, SPI
* Калибровка: заводская
* Уровень шума: до 0.2 Па (1.7 см) и 0.01 температуры
* Диапазон измеряемого давления: от 300 hPa до 1100 hPa (9000 м до -500 м)
* Размер: 2.5 мм х 2.0 мм х 0.95 мм

**7.6 RF модуль**



Рис. 13. Модуль радиосвязи

Радиомодуль nRF24L01 — распространённое решение для радиосвязи на частоте 2.4ГГц. Имеет 32-байтовый буффер данных для записи. Подключается исключительно интерфейсом SPI, частота отправки данных нашего аппарата — от 15 ГГц по пятому радиоканалу под адресом «sprd3» (пять байт).

**Характеристики:**

* Частота передачи/приема: 2.4ГГц
* Расстояние передачи/приема: до 100м, в помещении - до 30 м
* Скорость передачи: 250kbps, 1Mbps и 2Mbps
* Модуляция: GFSK
* Чувствительность приемника: -82 dBm
* Максимальная выходная мощность: 0 dBm
* Коэффициент усиления антенны: 2dBm
* Количество каналов: 126
* Интерфейс: SPI
* Напряжение питания: 3.3В

## 7.7 Дополнительная нагрузка

**GPS BN-220**



Рис. 14. Модуль позиционирования

BN-220 – это модуль позиционирования, позволяющий получить координаты устройства посредством GPS, GLONASS и других. Поддерживает поиск по 72 каналам, чипсет – u-blox M8030-KT.

**Характеристики:**

* Напряжение питания: 3-5.5V (5V типичное)
* Интерфейс связи: UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)
* Поддержка навигационных систем: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS
* Время старта: 26 сек. холодный старт, 25 сек. тёплый старт, 1 сек. горячий старт
* Максимальная рабочая высота: 50.000м
* Размеры: 22x20x6мм

Выбор модуля обусловлен наличием двух шин UART на микроконтроллере, небольшими массо-габартиными характеристиками и простотой использования. BN-220 передаёт данные на скорости 9600Б/с раз в секунду. Использование модуля позиционирования позволит составить примерный маршрут полёта спутника в трёхмерном пространстве и определить место приземления.

**Модуль SD HW-125**

****

Рис. 15. Модуль SD

Модуль SD предназначен для предоставления устройству возможности чтения и записи данных на объёмное энергонезависимое хранилище. Поддерживаются наиболее распространённые для данного типа памяти файловые системы – FAT16 и FAT32. Подключён по интерфейсу SPI.

**Характеристики:**

* Питание: 4.5-5.5V
* Интерфейс: SPI (Serial Perephirial Interface)
* Размеры: ...

HW-125 подключён интерфейсом SPI к основному микроконтроллеру. Данные записываются каждую итерацию основного цикла программы ради максимизации количества данных для последующей обработки.

**“WatchDog” на микроконтроллере ATTiny13**

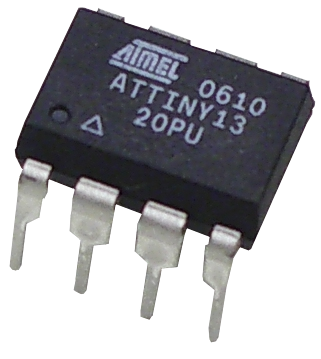
****

Рис. 16. Микроконтроллер ATTiny13

ATTiny13 – 8-битный, высокопроизводительный, маломощный микроконтроллер на базе AVR RISC. Из-за небольших размеров и низких характеристик часто встраивается в системы для выполнения мелких задач. Взаимодействие с основным микроконтроллером производится при помощи считывания и установки логических уровней на двух цифровых линиях.

**Характеристики:**

* Ядро: avr
* Ширина шины данных: 8 бит
* Тактовая частота: 20 Мгц
* Кол-во портов ввода-вывода: 6
* Память программ: 1 Кб FLASH
* Энергонезависимое хранилище: 64 Байт EEPROM
* SRAM: 64 Байт
* Таймер: 8-битный таймер-счётчик T0

Для реализации системы “Watchdog” на микроконтроллерах AVR есть встроенный сторожевой таймер. К несчастью, он часто отказывает, может не заметить зависания или зависнуть вместе с микроконтроллером или произвести перезагрузку без зависания. Поэтому для повышения стабильности и безопасности системы приянто решение реализовать внешний “Watchdog”. Наиболее удобным и доступным вариантом было использование микроконтроллера с минимальным количеством пинов и собственным таймером.

## 7.8 Структурная схема

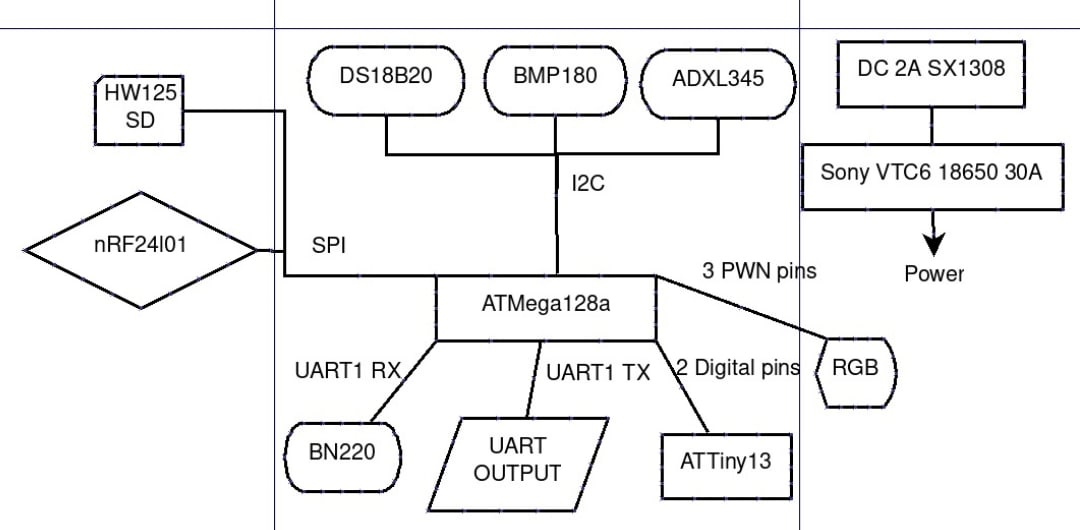


Рис. 17. Структурная схема аппарата

Питание:От аккумулятора Sony vtc6 напряжение через выключатель приходит на преобразователь напряжения SX1308 который повышает напряжение пришедшее от аккумулятора с 4.2 вольт до 9 вольт. После чего это напряжение попадает на вход 9 вольт платы МК где на преобразователе преобразуется в 5 вольт, далее это напряжение расходится на плату Датчиков плату передатчика и GPS модуля.

# 8. Программирование

## 8.1 Средства разработки, компиляции, интерпретации и прошивки

Для более углублённого изучения программирования микроконтроллеров AVR было принято решение отказаться от использования IDE и автоматизировать процесс самостоятельно.

Для разработки выбран язык C++ и C. C++ позволяет использовать метод объектно-ориентированного программирования, ссылки и умные указатели, что достаточно полезно при работе с микроконтроллерами. C нужен в данном проекте для более удобной работы с прерываниями, выводом данных и таймеров. Многими компиляторами код на языке С может компилироваться вместе с кодом на языке С++.

Разработка ведётся на дистрибутиве Arch Linux, что сильно упрощает разработку программного обеспечения для микроконтроллеров. Для компиляции используется компилятор avr-g++. Это расширение GNU Compile Collection для компиляции кода на языках C/C++ под микроконтроллеры линейки AVR. Отличительным свойством этого варианта является возможность легко автоматизировать компиляцию при помощи скриптов и огромное количество настроек. Этот компилятор зависит от необходимого пакета avr-libc, представляющего собой набор стандартных библиотек (io, delay, interrupt и т.д.).

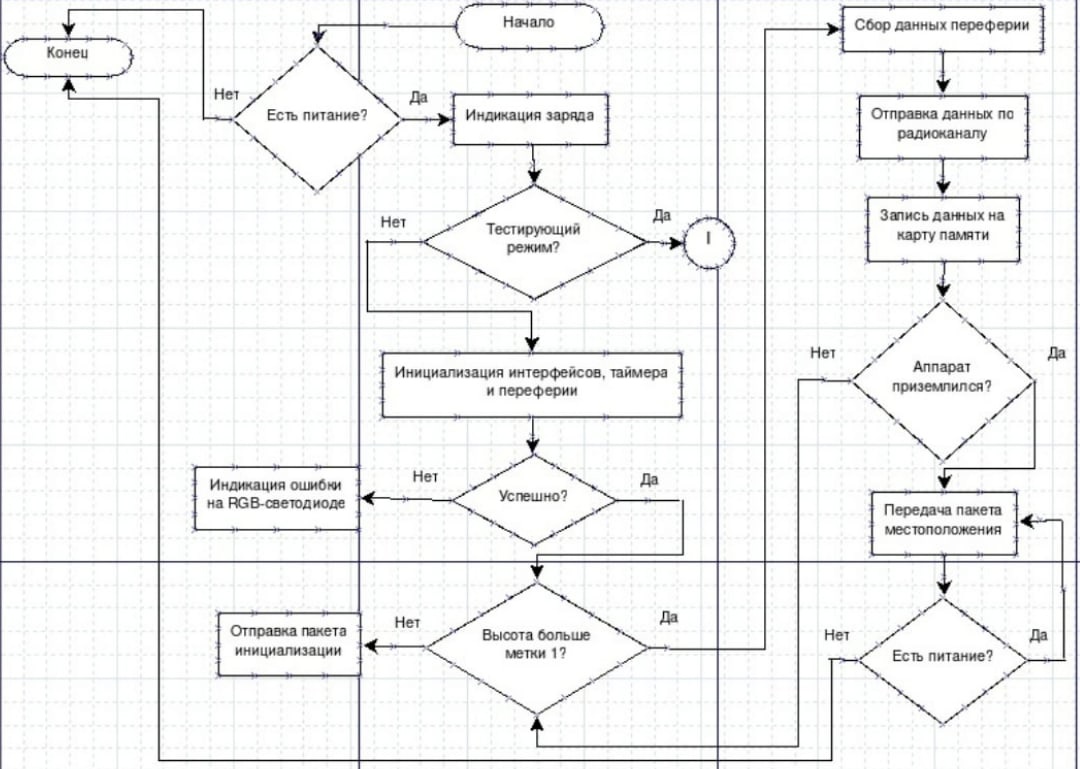
Для прошивки микроконтроллера используется программатор USBASP, а для управления прошивкой – avrdude. Он позволяет работать напрямую с памятью атмеги и её фьюзами при помощи аргументов.

Для отладки используется avr-gdb. Это расширение GNU DeBugger для AVR. Его можно просто встроить в практически любой текстовый редактор.

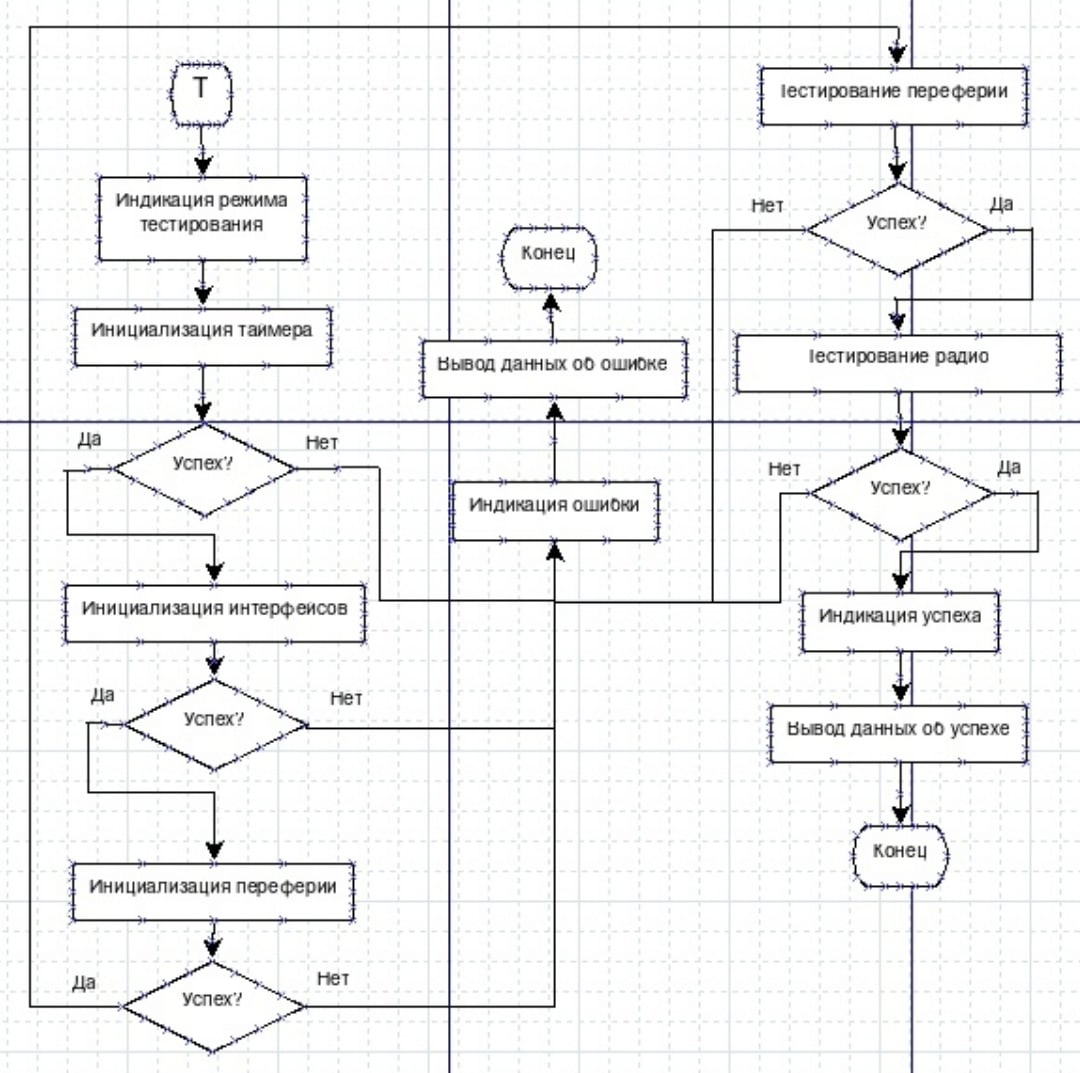
Для написания кода используется NeoVim. Взамен сложности использования он предоставляет очень много средств ускорения написания программ, простую поддержку плагинов через файл конфигурации, среди которых есть и плагины для AVR.

## 8.2 Алгоритмы работы аппарата

После подачи питания аппарат индицирует заряд аккумулятора. Если режим тестирования, указанный программно (константа workMode) — тестирование (значение 0), то алгоритм переходит в режим тестирования (Рис. 18). Иначе работает полётный режим. Если инициализация проходит с ошибкой, то индикационный светодиод начинает моргать (индикация ошибки). Пока высота не преодалеет метку 1 (10 метров, слежение за высотой проводится с момента инициализации), идёт отправка пакета инициализации. После подъёма на высоту 10 метров аппарат начинает собирать всю телеметрию, отправляет данные по радиоканалу и записывает на карту памяти. Как только высота станет ниже 20 метров и перестанет меняться — аппарат будет считаться приземлённым. Отправка данных местоположения будет производиться до отключения питания. Каждую итерацию основного цикла микроконтроллер подаёт сигнал на «Watchdog».

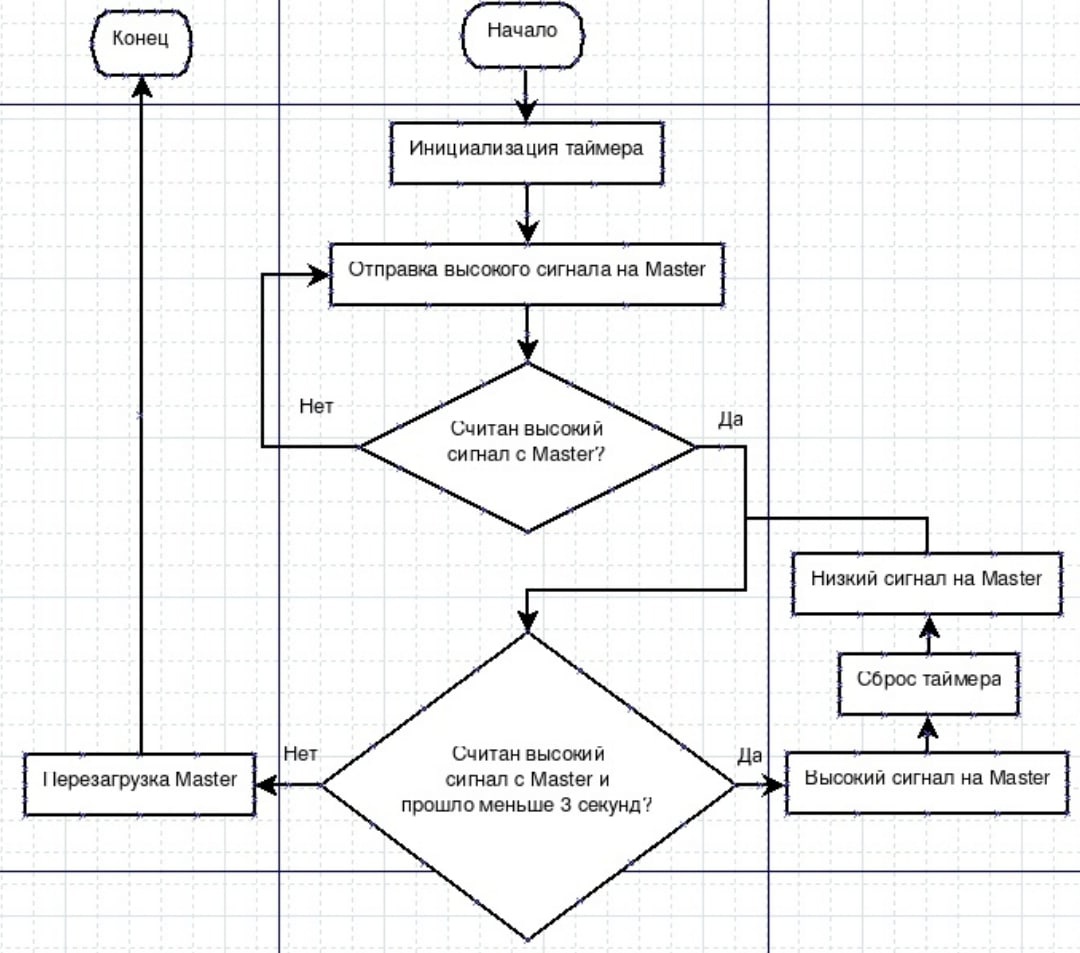
Рис. 18. Полётный алгоритм спутника

Тестирующий режим поочерёдно инициализирует и проверяет основные компоненты аппарата. В этом режиме TX UART1 будет передавать данные ошибок, если они будут зарегистрированы, а индикационный светодиод начнёт мигать соответствующим цветом (красный — ошибка, зелёный — успех). По завершению без ошибок выводится сообщение об успехе.

Рис. 19. Тестирующий алгоритм спутника

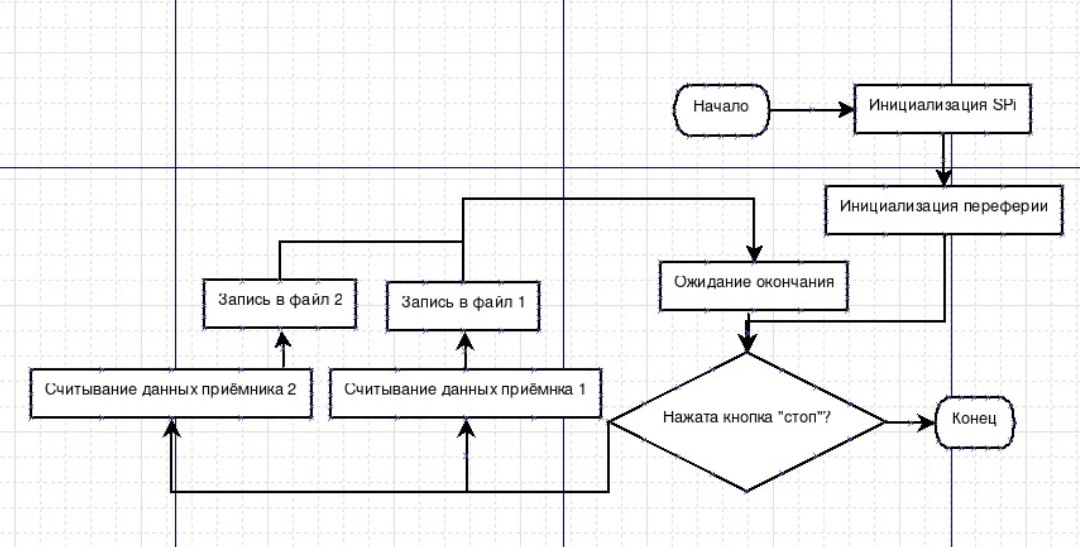
## 8.3 Алгоритмы работы «Watchdog»

Система «Watchdog» реализована на микроконтроллере ATTiny13. Взаимодействие происходит по двум цифровым линиям. Линия мастера к ватчдогу — MW (Master to Watchdog), линия ватчдога к мастеру — WM (Watchdog to Master). Инициализация master проводится считыванием высокого логического уровня на линии MW. С этого момента на микроконтроллере ATTiny13 инициализируется таймер-счётчик по переполнению. Ответом поднимается логический уровень линии WM. Как только опустится линия MW, опустится и линия WM, сбросится таймер и с этого момента мастер должен не менее раза в три секунды поднимать логический уровень MW. Ответом ватчдога будет высокий уровень линии WM, обозначающий успешный сброс таймера. Если в течение трёх секунд не будет подниматься линия MW, ватчдог сочтёт это как зависание и перезагрузит микроконтроллер. Так же он потеряет питание и после включения микроконтроллера потребует инициализаицю снова. Она будет проведена как только микроконтроллер закончит инициализацию минимально необходимого оборудования.

Рис. 20. Алгоритм работы «Watchdog»

## **8.4 Алгоритмы работы приёмной станции**

Приёмная станция реализуется на основе микрокомпьютера Raspberry PI 4. По интерфейсу SPI он подключается к радиомодулям nRF патч-антенны и биквадрата и поочерёдно опрашивает их на наличие принятых пакетов. Принятые пакеты выводятся на экран и пишутся в два файла. Благодаря наличию нескольких ядер на данном микрокомпьютере, часть работы производится асинхронно.

Рис. 21. Алгоритм работы приёмной станции

# 9. Список литературы

* M. Gregorie «Professional C++, 5th edition».
* N. Mort «Programming in C, 2nd edition»
* R. Seacord «Effective C: An introduction to Professional C Programming»
* В. Рябенький «Компьютерное управление внешними устройставми через стандартные интерфейсы»
* В. Никонов «КОМПАС-3D. Создание моделей и 3D-печать»
* С. Монк «Практическая электроника. Иллюстрированное руководство для радиолюбителей»
* И. Соболев «Конструкция системы спасения»
* «Воздушно-инженерная школа CanSat в России»
* ATMega128a — Datasheet
* ATTiny13A-PU - Datasheet
* nRF24L01 — Datasheet
* BMP180 — Datasheet
* DS18B20 — Datasheet
* ADXL345 — Datasheet
* BN-220 — Datasheet
* HW125 — Datasheet