

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

Пояснительная записка проекта

«ArianeSat»

Команда: “Ariane”

Самара 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	2
Введение	3
1. Цели миссии	4
1.1 Описание научной миссии проекта	5
2. Конструкция аппарата	6
3. Бортовые системы спутника	9
3.1 Бортовой компьютер	9
3.2 Система связи	10
3.3 Система энергопитания	10
3.4 Система фотосъемки	11
4. Приемная станция	11
5. Прием и обработка телеметрии	12
6. Программное обеспечение для микроконтроллеров	14
7. Расчет энергобаланса	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	17

ВВЕДЕНИЕ

В рамках проектной работы представлен проект стратосферного аппарата. Перед командой стояла задача по разработке всех бортовых систем для стратосферного полета.

В процессе выполнения проекта были разработаны платы бортовых систем, корпус аппарата, предложены способы по приему и обработки телеметрии.

Для выполнения поставленных задач проведены необходимые расчеты всех систем аппарата, были разработаны структурные, принципиальные электрические схемы, печатные платы для бортовой электроники, проведена сборка, настройка, тестирование. В процессе работы над проектом были решены как задачи по обеспечению работоспособности аппарата, так и по сбору данных на протяжении всего полёта.

1. Цели миссии

1. Спроектировать бортовое оборудование в соответствии с положением чемпионата
2. Спроектировать корпус аппарата в соответствии с требованиями по креплению аппаратов на общий носитель
3. Организовать передачу данных с борта аппарата на собственную приемную станцию
4. Фотофиксация в момент разрыва оболочки зонда
5. Реализовать обработку принятой телеметрии в реальном времени
6. Передача по радиоканалу нескольких фотографий
7. Измерение зависимости количества энергии, вырабатываемой солнечными панелями в зависимости от высоты
8. Перепрограммирование основного микроконтроллера в процессе полета

2. Конструкция аппарата

В связи с особенностями стратосферного полета необходимо уделить особое внимание тепловому балансу. Одна из причин возможных неполадок в работы бортовых систем является неоднородность температурных слоёв по мере подъёма, а также низкая теплопроводность атмосферы на высоте более 20км.

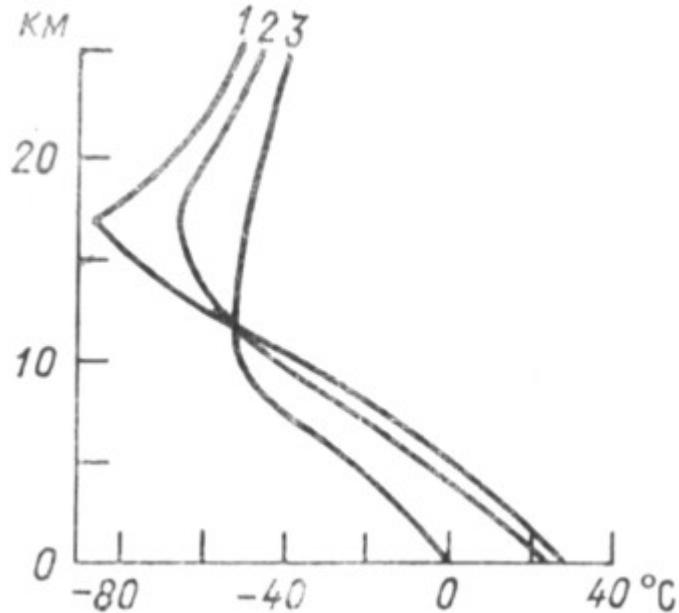


Рис 1. Распределение средней температуры воздуха с высотой на экваторе (1), на 30° с. ш. (2) и .на 60° с. ш. (3).

К примеру, на высоте около 11 км аппарат будет проходить участок с наименьшей температурой. Дополнительную сложность представляют ветра, которые значительно усиливают конвекцию. Тогда как на максимальной высоте полёта плотность атмосферы уже почти пренебрежимо мала, и из-за этого ухудшается теплообмен с воздухом. В связи с тем, что на данной высоте аппарат уже не защищается облаками и нижними слоями атмосферы, а электроника продолжает работать на пике мощности, возникает угроза перегрева аппарата.

Корпус - важный компонент спутника, который обрамляет электронику и защищает её от воздействия окружающей среды. Основой корпуса служит металлическая рамка с толщиной стенок 2мм. Её размеры – 50x50x100мм позволяют компактно установить всю нужную электронику, дополнительную прочность которой придают распорки, сделанные из пластика. Сверху и снизу корпус закрывается с помощью металлических пластин толщиной 2мм, оснащённых необходимыми отверстиями для оборудования. На каждом боку рамки расположены четыре отверстия для крепления и «окна», позволяющие не только уменьшить вес конструкции без значительной потери её прочности, но и соединить солнечные панели, также расположенные на каждом боку рамки, с необходимыми компонентами электроники. Солнечные панели, соединённые с рамкой четырьмя винтами M2, призваны продлить срок жизни аппарата и тем самым увеличить количество информации, получаемой со спутника.

Пластиковая арка, созданная при помощи печати на 3D принтере и соответствующая всем стандартам и требованиям для участия, предназначена для крепления спутника к аппарату, который поднимет его на высоту.

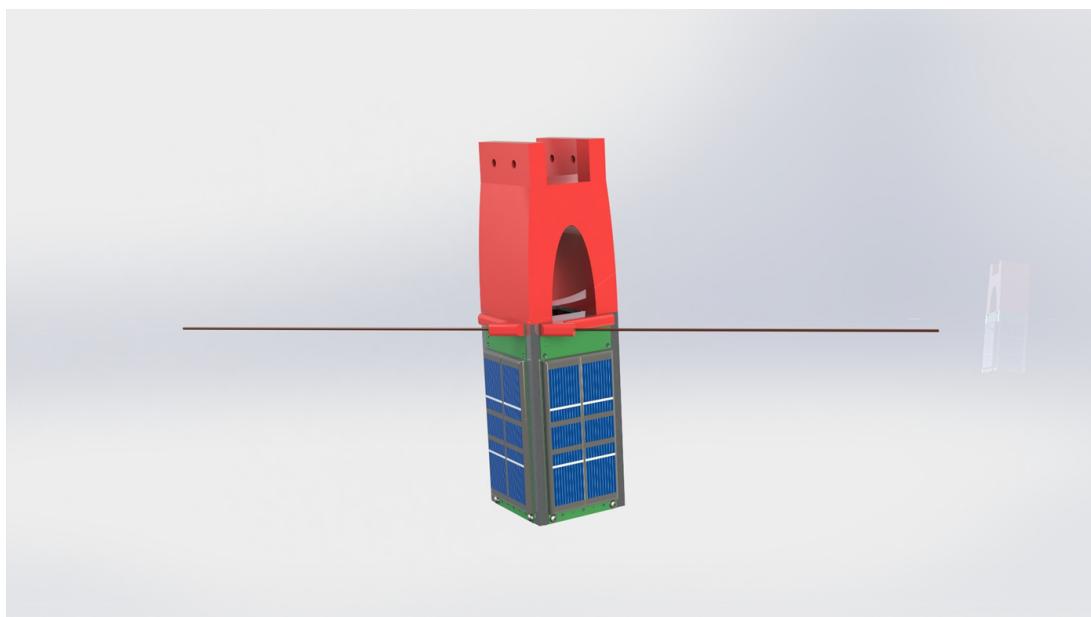


Рис. 2. Аппарат в летном состоянии.

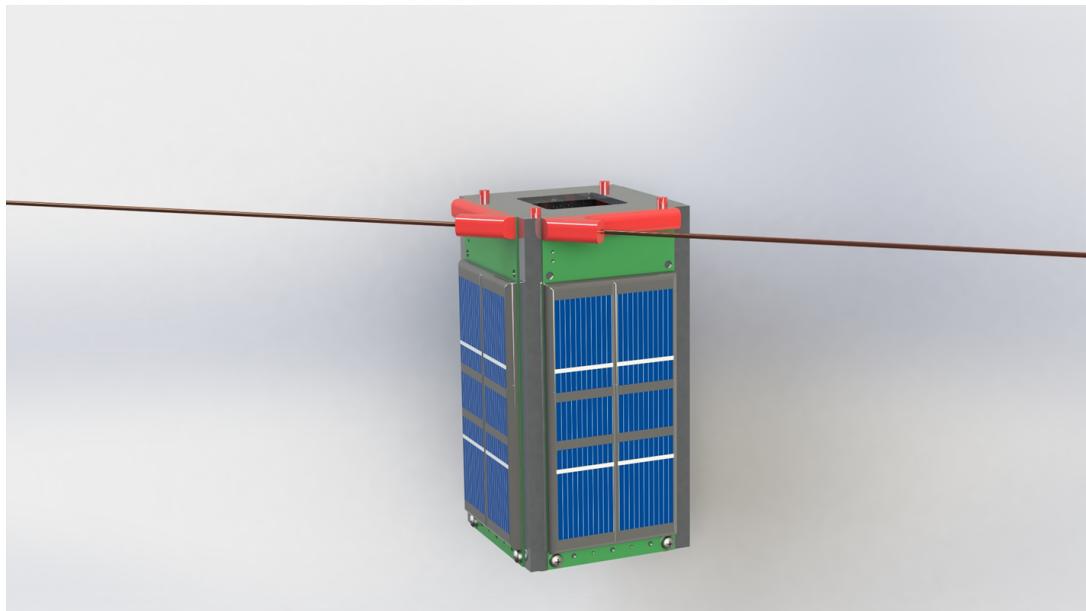


Рис. 3. Аппарат без крепления к носителю.

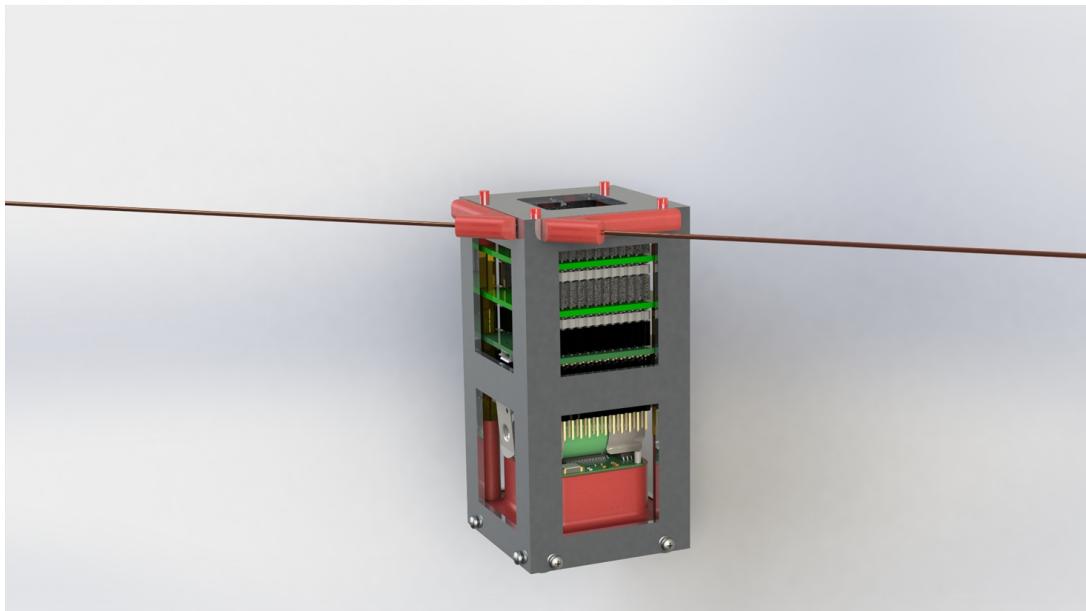


Рис. 4. Аппарат без солнечных панелей.

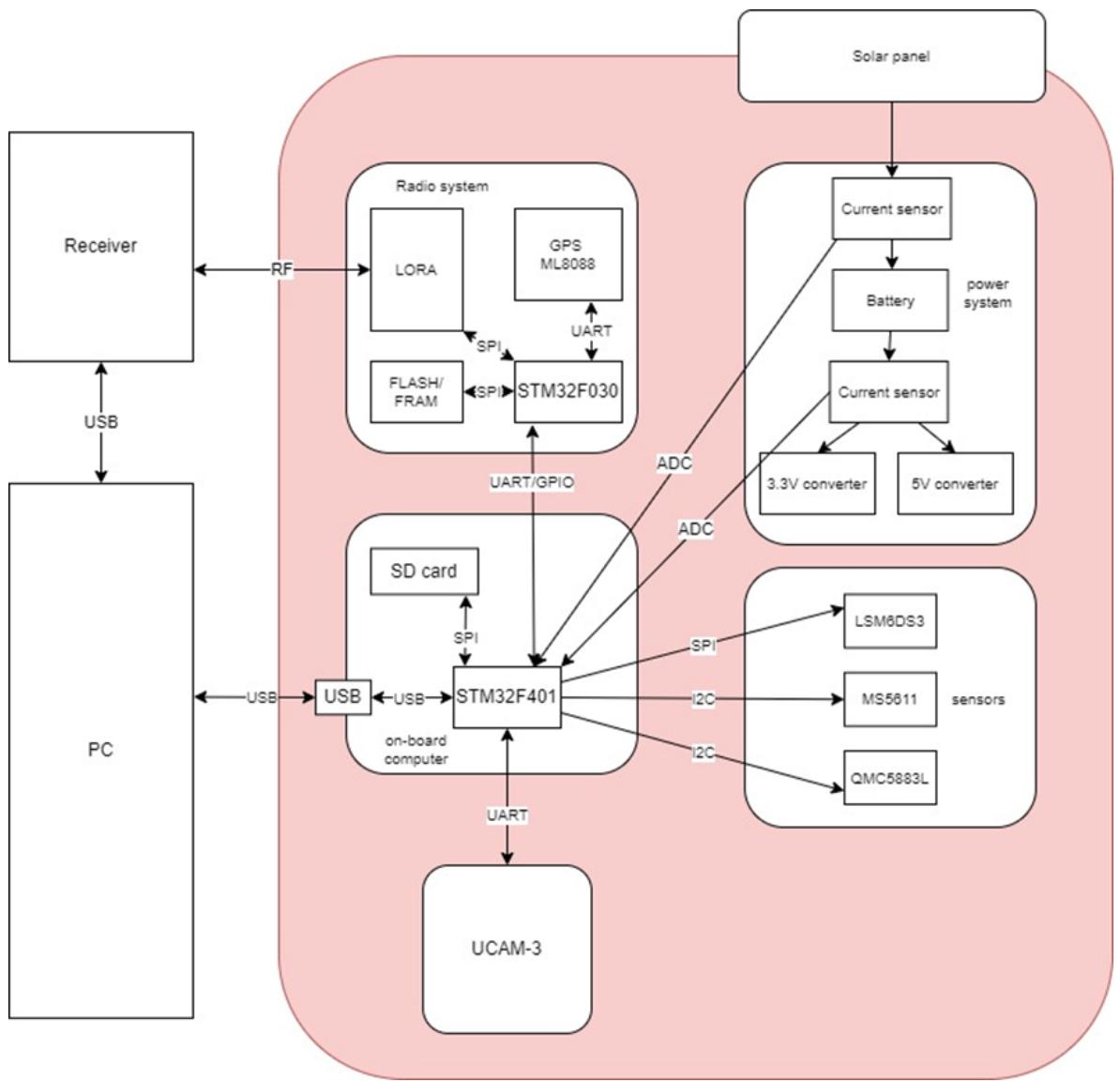


Рис. 5. Структурно-функциональная схема.

Бортовая электроника аппарата разделена на 4 системы: плату с микроконтроллером, систему питания, датчики, систему радиосвязи. Дополнительно на борту находится UCAM-3 фотокамера для фотографирования земли. Для получения энергии в полёте используются 4 солнечные панели, установленные на боковых гранях.

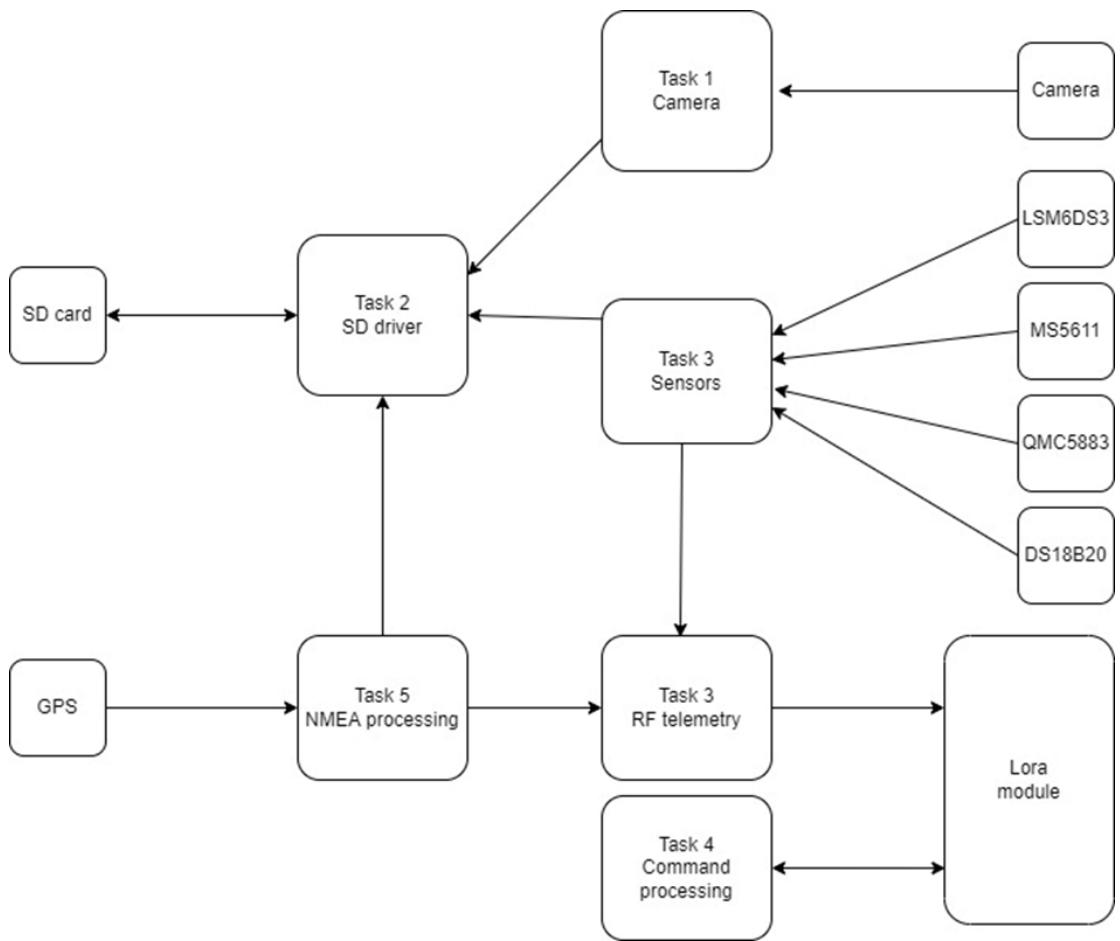


Рис. 6. Блок-схема взаимодействия микроконтроллера с периферией.

Для эффективного управления аппаратом на основном контроллере применяется операционная система FreeRTOS. Таким образом, сложность алгоритмов работы аппарата можно наращивать, не жертвуя качеством кода.

В составе операционной системы имеются задачи:

- 1) Опроса камеры - осуществляет взаимодействие с аппаратным блоком UART, работает с настройками камеры, осуществляет сбор изображений и дальнейшую их передачу.
- 2) Драйвер карты памяти - реализует интерфейс доступа между другими задачами и картой памяти при помощи файловой организации и буферов.
- 3) Радиотелеметрия - осуществляет передачу актуальной телеметрии по радиоканалу
- 4) Обработка команд - осуществляет обработку входящих команд на спутник, контроль их исполнения и передачи отчета о выполнении
- 5) Обработка NMEA строк - осуществляет парсинг строк, выделяя из них полезную информацию, и передает эти данные на другие системы

3. Бортовые системы спутника

Каждая бортовая система представляет собой отдельную печатную плату, на которой расположены блоки, необходимые для реализации определенных функций. Обмен

данными между системами происходит через различные протоколы, таких как SPI, UART и I2C. По общей шине также осуществляется передача питания ко всем системам.

Для увеличения надежности и взаимозаменяемости бортовых систем на каждой из плат установлен один или несколько микроконтроллеров, обеспечивающих обмен данными как между собой, так и с установленном оборудованием. Для организации взаимодействия между ними было принято решение организовать шину I2C.

3.1 Бортовой компьютер

Бортовой компьютер на основе популярного микроконтроллера STM32F401 с возможностью отладки. Данное устройство поддерживает протокол USB для обмена данными. Также Важной особенностью является наличие всех необходимых популярных интерфейсов, таких как UART, I2C, SPI. Возможно перепрограммирования в полете, что обеспечивает стабильность работы аппарата и возможность внести изменения в алгоритм работы

Наличие разъёма для подключения датчика отделения от носителя(датчика освещенности) позволяет запустить аппарат уже во время запуска, а не во время подготовки. Данный разъем позволяет включать аппарат уже во время запуска носителя, что экономит энергию аккумулятора.

Наличие карты памяти для записи фотографий с камеры и полетной информации позволяет сохранять, дублировать телеметрию и кадры съёмки на карту для дальнейшего анализа, в случае проблем с радиоканалом.

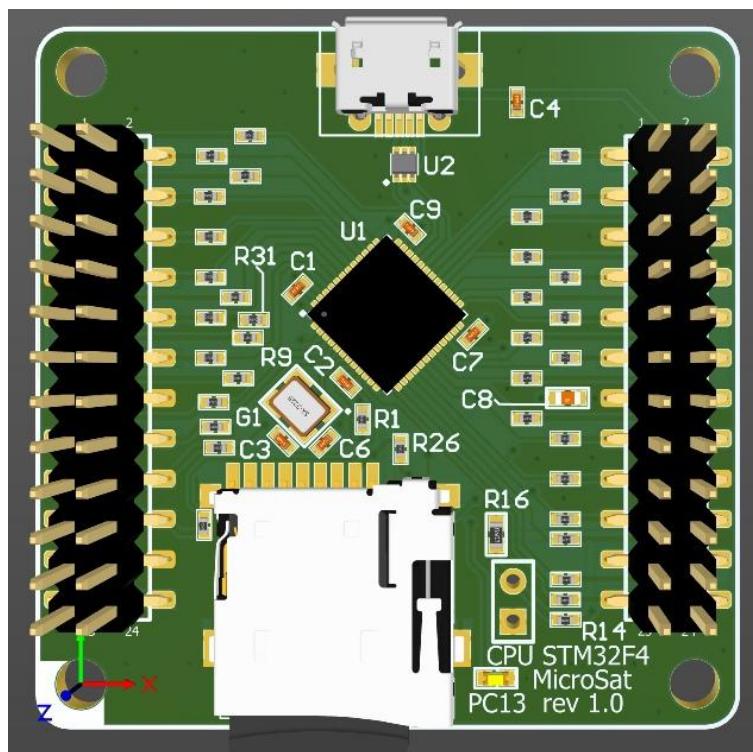


Рис. 7. Плата микроконтроллера.

3.2 Плата датчиков Телеметрии

- Высотный барометр MS5611. Подключается по интерфейсу I2C, Рабочий диапазон от 10 до 1200мБар, от -10 до +85 °C
- Термометр DS18B20. Рабочий диапазон от -55 до +125°C
- Акселерометр+гироскоп LSM6DS. Подключается по интерфейсу SPI

- Магнитометр LIS3MDL. Подключается по интерфейсу I2C

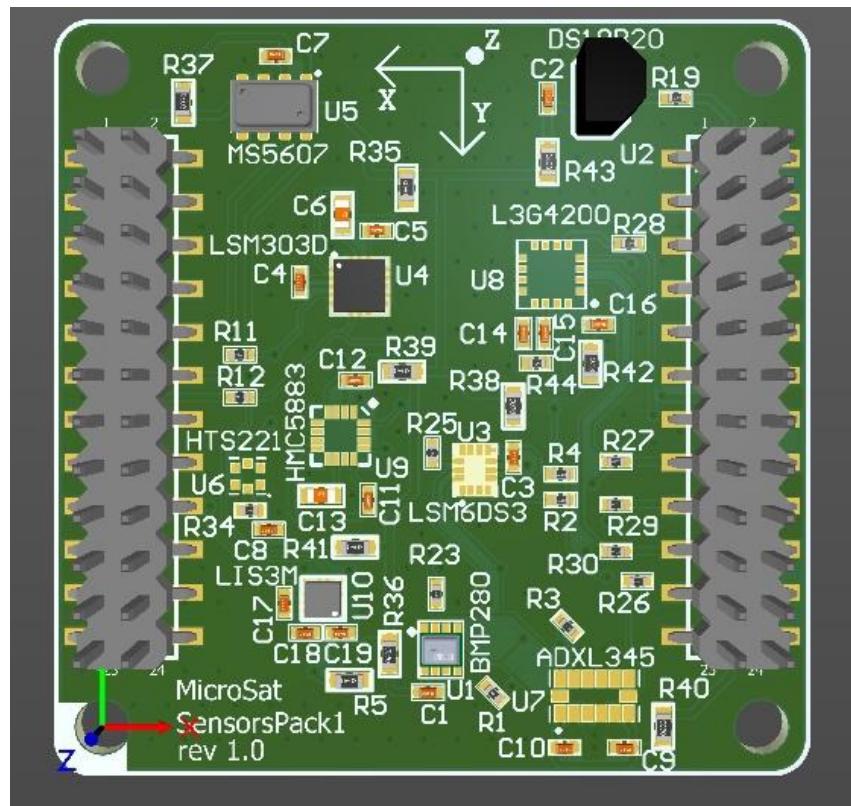


Рис. 8. Плата датчиков телеметрии.

3.3 Система радиосвязи

Система радиосвязи представляет собой систему, предназначенную для передачи телеметрии, приёма навигационных сигналов, получение команд и отправка подтверждения

Она включает в себя:

- 1) Навигационный приёмник NAVIA ML8088sE. Использование данного приемника должно обеспечивать определение положения на высоте до 50 км при скорости менее 500 км/ч.
- 2) Низкоскоростной приемопередатчик с технологией модуляции Long Range, который обеспечивает получение базовой телеметрии, отправку команд и получения ответа на них.
- 3) Микроконтроллер STM32F030F4P6, предназначенный для обработки данных с GPS и перепрограммирования основного контроллера
- 4) FLASH память для временного хранения ПО

Приёмопередатчик обладает следующим функционалом:

- Присутствует спящий режим, минимизирующий потребление модуля
- Максимальная мощность при передаче составляет 1 Вт(30dBm), планируемый - 100мВт(20dBm)
- Центральная несущая частота: 433 МГц
- Чувствительность приёмника составляет -147 ± 1 dBm

- Максимальная длина пакета 1000 байт, возможно конфигурирование
- Канал: конфигурируемый
- Скорость передачи - 5 кБит
- Адрес - 00(широковещательный)
- Полоса частот - 50 кГц
- Напряжение питания - 5В

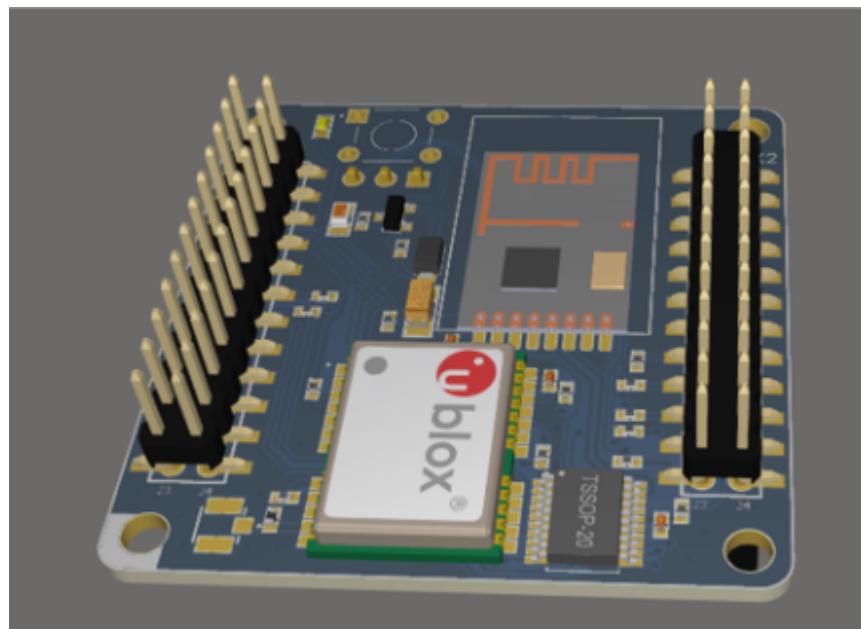


Рис. 9. Плата радиосвязи.

Для передачи используется следующая структура пакета:

Символ начала пакета	Символ ‘\$’
Длина пакета	2 Байта, бинарный формат
Данные	от 0 до 65535 байт, бинарный формат.
Контрольная сумма	XOR
Символ окончания пакета	Символы возврата каретки и новой строки “\r\n” (ASCII номера соответственно 13, 10)

Далее, после получения данных они будут проверены на контрольную сумму, и восстановлены. Будут использоваться алгоритмы RLE, LZW.

Для обновления ПО, аппарат проходит следующие шаги:

1. Радиомодуль принял команду на обновление
2. Радиомодуль принимает пакеты данных и сохраняет их на внешнем носителе
3. Бортовой компьютер перезагружается в загрузочный режим
4. После завершения передачи, модуль начинает процесс смены ПО, считывая данные из новой версии и записывая их во внутреннюю память бортового компьютера.
Используется протокол UART
5. После успешного завершения процесса, посыпается пакет с контрольной суммой итогового пакета
6. Бортовой компьютер запускается в стандартном режиме и продолжает свою работу.

3.4 Система энергопитания

Для обеспечения питания в полете была разработана система энергопитания, осуществляющая зарядку батареи, хранение энергии и преобразование напряжение.

- В качестве накопителя энергии используется Li-Ion аккумулятор формата 18350, который располагается горизонтально на плате и крепится при помощи зажимов.
- Система содержит повышающий преобразователь напряжения MT3608 до 5-и вольт и понижающий преобразователь напряжения TPMP1470GJ-Z до 3.3-х вольт.
- Также на плате установлен контроллер зарядки батареи TP4056, который позволяет осуществлять зарядку батареи до полёта от разъёма USB.
- Дополнительно система имеет 4 входа для подключения боковых плат с солнечными панелями, которые осуществляют подзарядку аккумулятора во время полета.
- Возможность отключения преобразователей при хранении или транспортировке, наличие защитной перемычки Remove Before Flight
- Так как спутник, для которого предназначается эта система питания будет находиться в стратосфере, то температура окружающей среды будет ниже рабочего диапазона для аккумулятора. Система питания содержит обогреватель для аккумулятора и схему измерения температуры.
- На плате имеется система аварийного отключения преобразователей при низком заряде батареи. Она реализована при помощи операционного усилителя LMV358 в режиме компаратора
- Также реализована система измерения тока заряда и разряда на операционном усилителе LMV358 в режиме дифференциального усилителя. Максимальный ток до 1 А, сопротивление шунта 10 мОм.
- Дополнительно на плате имеется индикация работы системы питания.

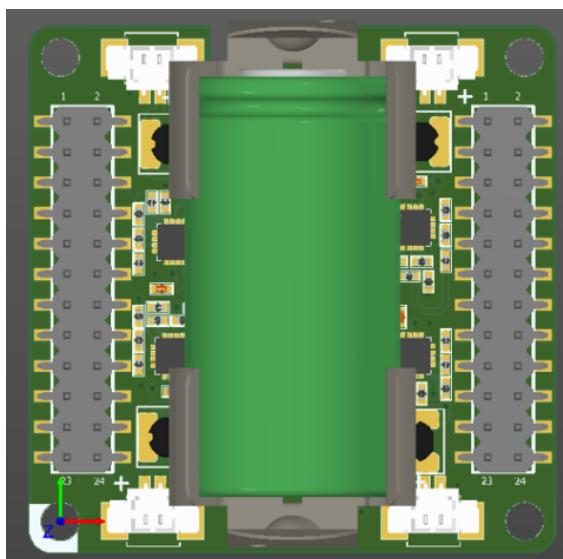


Рис. 10. Плата системы питания.

В дополнение к ней, была разработана плата, предназначенная для зарядки от солнечных панелей, устанавливаемая по бокам аппарата.

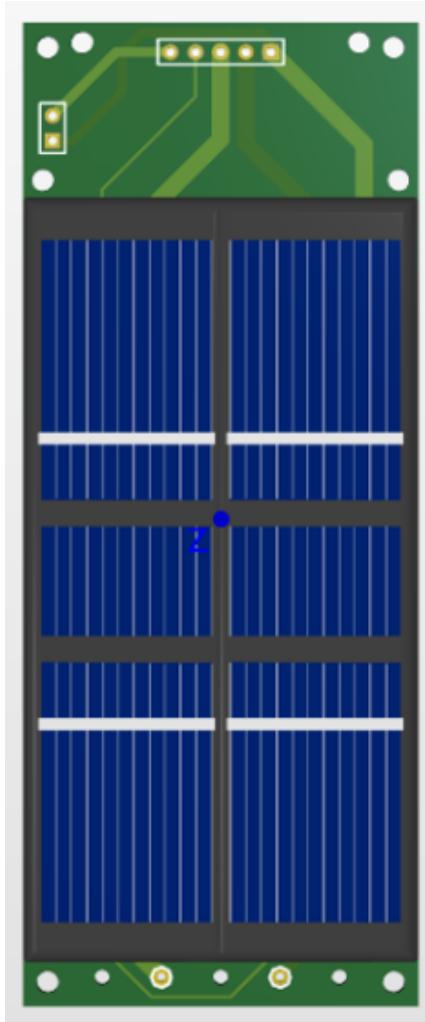


Рис. 11. Плата солнечной панели.

Она позволяет устанавливать солнечные панели напряжением от 2.5В, имеет встроенный MPPT контроллер SPV1040, датчик тока, фотодатчик для определения освещенности. Дополнительно на плате есть возможность установки системы раскрытия антенн.

Общая площадь (см^2) $40\text{мм} \times 80\text{мм} \times 4 \text{ шт} = 128 \text{ см}^2$

Приняв, что в условиях работы КПД панели составит 15%, угол падения 45° , эффективную площадь = 40% от номинальной и общую мощность солнечной энергии в $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$, получим итоговую мощность 537 мВт, что для линии 3.3В, которая обеспечивает большую часть устройств питанием, составит ток в 150 мА.



Рис. 12. Сборка бортового компьютера, датчиков, системы радиосвязи.

3.5 Система фотосъемки

В качестве системы видеофиксации используется камера UCAM-3. Она зафиксирована внизу корпуса аппарата. Подключение происходит по интерфейсу UART с максимальной пропускной способностью 3.6Мбит

Сама камера имеет следующие характеристики:

- Разрешение 640x480
- Угол обзора 54°
- Количество цветов 16 млн.
- Сжатие JPEG
- Частота съёмки 10 кадров/с.



Рис. 13. Фотокамера UCAM-3

4. Приемная станция

В качестве приемной станции планируется использование open-source платформы SatNOGS. Проект направлен на создание глобальной сети спутниковых наземных станций. Он разработан как проект с открытым исходным кодом, основанный на использовании пользователями наземной станции, доступ к которой осуществляется через веб-сервер для всех пользователей сети. Такой выбор даёт нам множество преимуществ:

1. Гарантия работоспособности устройства
2. Обширная зона покрытия
3. Документация, позволяющая развивать проект
4. Возможность удалённой связи с аппаратом. Имеется ввиду связь аппарата и обработчика по средствам сети Интернет
5. Гибкая настройка, которая не требует дополнительных затрат

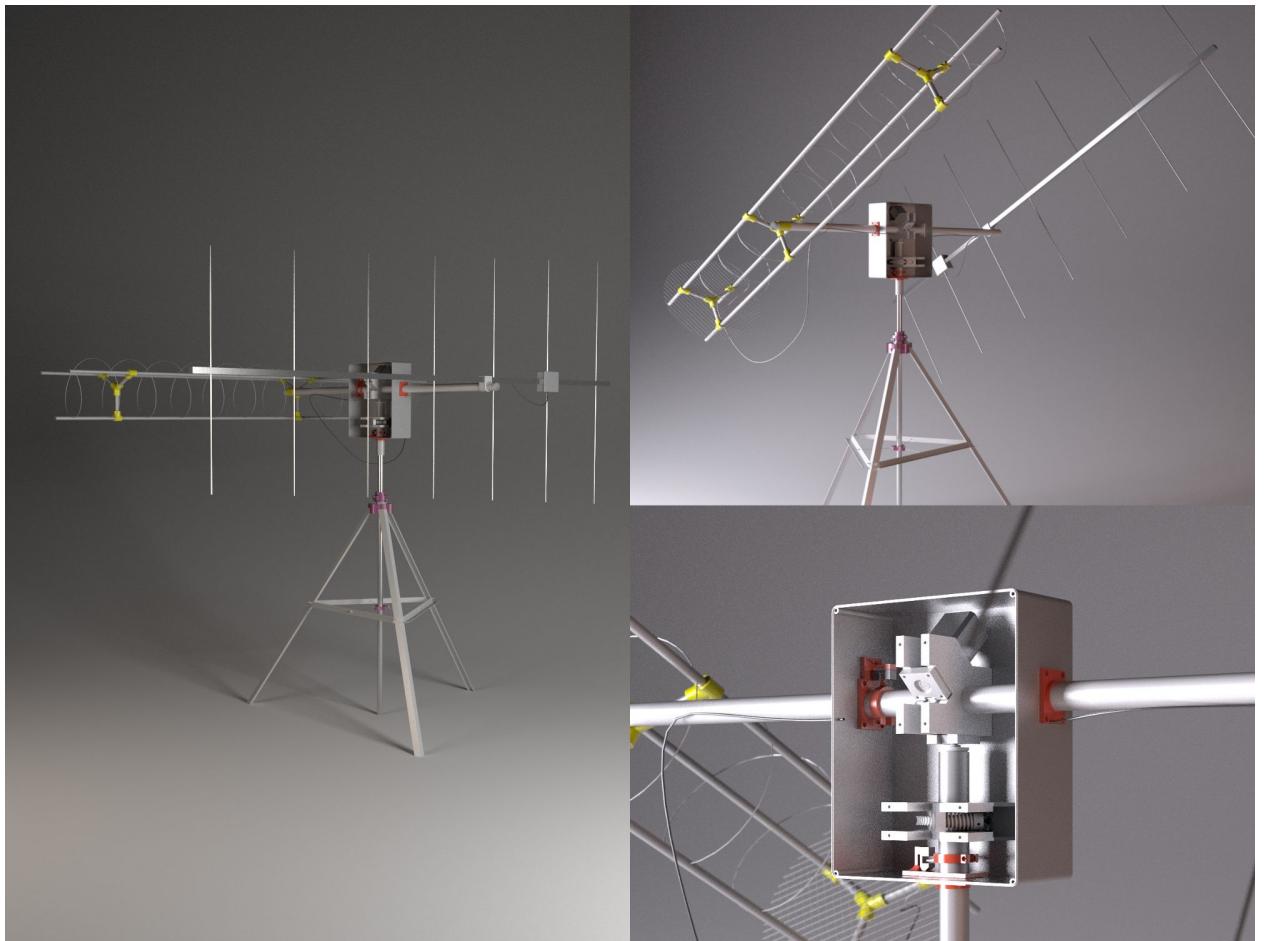


Рис. 14. Приемная станция SatNOGS.

Для приёма телеметрии на компьютере планируется разработать ПО, позволяющее осуществлять удобное взаимодействие с аппаратом. Оно включает в себя как систему идентификации аппарата, построения графиков, просмотр мгновенных значений, изменение параметров, перепрошивка, получение фотографий. Реализовать данный функционал планируется с графическим интерфейсом на языке C#.

6. Программное обеспечение для микроконтроллеров

В рамках проекта планируется реализация программного обеспечения для сбора данных, их обработки и обмена ими в процессе полета. Под программной реализацией понимается программное обеспечение для микроконтроллеров самого аппарата, программа для обработки данных с приемной станции. Кроме того ведётся разработка системы для взаимодействия с аппаратом с помощью пользовательских команд. Также в процессе реализации система удаленного перепrogramмирования. Она даёт возможность исправить критические ошибки, которые могли произойти в процессе работы или выявлены при тестировании уже во время эксплуатации.

Система взаимодействия с аппаратом посредством команд:

Данная система необходима для получения различной информации со спутника. В памяти бортового компьютера зарезервированы основные типы команд, с помощью которых можно получить информацию, например, о текущем состоянии платы питания, данные с датчиков или просто проверить работоспособность всех устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проекта был разработан аппарат, предназначенный для полета в стратосферу. Данный аппарат может делать снимки и передавать их на собственную приемную станцию, собирать данные о местонахождении, температуре и давлении окружающей среды и также отсылать их на приемную станцию. На данный момент проект находится на стадии реализации и планируется к запуску летом 2022 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CubeSat Design Specification Rev. 13 The CubeSat Program, Cal Poly SLO
2. Sebastian O.H. Madgwick An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor array – April 30, 2010
3. Амелькин, Н.И. Кинематика и динамика твердого тела(кватернионное изложение). / Н. И. Амелькин. – М., 2000. – 64 с.
4. Ткачев, С.С. Исследование управляемого углового движения аппаратов с ротирующими элементами: дис. канд. физ. мат. наук: 01.02.01 / Ткачев Степан Сергеевич ; Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН – Москва, 2011. – 108 л.

Приложение А

Бюджет

Бортовой компьютер	2500
Датчики телеметрии	2000
Система радиосвязи	4000
Система энергопитания	1500
Система фотосъемки	4500
Корпус	7000
Приемная станция	15000
Антенны	1500
Наземное оборудование	3000
Производственное оборудование	50000
Итого	91000

Приложение В

План-график

Получение допуска к финалу	10.04.2022
Прототипирование корпуса	17.04.2022
Собранный корпус аппарата	8.05.2022
Окончание разработки бортовых систем	24.04.2022
Окончание отладки бортовых систем	31.05.2022
Сборка приемной станции	1.06.2022
Отладка аппарата в сборе, написание ПО	1.07.2022
Тестирование и проведение испытаний	До момента старта