

**Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города  
Москвы "Школа № 17"**

**ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО КОМАНДНОМУ КЕЙСУ №2  
ИНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ПРОФИЛЬ  
МОСКОВСКОЙ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ  
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ**

**"Роботизированная система распределения грузов"**

**Команда «CaseBook»**

Работу выполнила:  
Ученица 8 «Б» класса  
Ураимжанова Миссирия Нурбековна

Научный руководитель, педагог дополнительного образования:

Любченко Виталий Владимирович

# Оглавление

Оглавление.....	2
Введение.....	3
Актуальность проекта.....	3
Цель работы:.....	5
Задачи:.....	5
Краткое описание устройства.....	7
Структурная схема.....	8
1 Функционал устройства.....	9
1.1 Элементы Системы.....	9
1.2 Функции согласно ТЗ.....	9
1.2.1 Удалённо, через радиоканал:.....	9
1.2.2 Дополнительные функции сверх ТЗ.....	10
2 3D-модель устройства и прототипирование.....	12
2.1 Перечень узлов с описанием и функцией.....	12
2.2 Описание кинематической системы.....	17
2.2 3D модель.....	18
3 Описание электротехнической части.....	19
3.1 Описание узлов.....	19
3.2 Блок управления и радиоинтерфейс.....	19
3.3 Система питания и защитные элементы.....	19
3.4 Электронные компоненты и их назначения.....	21
3.5 Монтажная схема.....	24
3.6 Потенциальная схема.....	25
3.7 Таблица подключений.....	26
4 Программное обеспечение.....	28
4.1 Диаграмма последовательности.....	28
4.2 Диаграмма конечного автомата.....	29
4.3 Блок-схема алгоритма.....	30
4.4 Список используемых библиотек с комментарием.....	38
4.6 Исходники программного кода.....	39
Заключение.....	40
Список литературных источников.....	42
Приложение А.....	44
Приложение Б.....	45
Приложение В.....	46

# **Введение**

## **Актуальность проекта**

В наше время отрасль становится одной из самых динамично развивающихся сфер науки и техники. Если раньше только крупные государства или корпорации могли позволить себе запуск спутников, то сегодня благодаря миниатюризации и удешевлению компонентов в космос выходят даже школы и университеты.

Одним из ярчайших примеров такой доступной технологии стали микроспутники формата CubeSat — небольшие кубические аппараты, размер которых может составлять всего 10 сантиметров по ребру. Они используются для учебных, исследовательских и прикладных целей, например для наблюдения за поверхностью Земли, испытания новых материалов или связи.

Несмотря на простоту конструкции внешне, внутри каждого спутника скрыт целый комплекс взаимосвязанных систем — питания, связи, ориентации и управления. От точности работы этих систем зависит успешность миссии. Особенно важным элементом является модуль наведения (или ориентации), который обеспечивает правильное положение спутника в пространстве. Он позволяет направлять антенны к Земле, удерживать необходимый угол солнечных панелей к источнику света и фиксировать оптические приборы на конкретных участках поверхности планеты. Без качественной системы наведения даже самая современная аппаратура теряет свою эффективность.

В последние годы именно модуль системы наведения считается одной из наименее проработанных частей отечественных любительских и учебных CubeSat. Многие готовые решения для ориентации разработаны за рубежом и

требуют специфических электронных компонентов, поставки которых сейчас осложнены из-за санкционных и логистических ограничений.

Это создаёт зависимость российских проектов от импорта, повышает стоимость запусков и тормозит развитие национальных инициатив в области малых спутников. В условиях необходимости технологического суверенитета особенно актуальной становится разработка компактных, надёжных и доступных систем наведения отечественного производства.

Вместе с тем существует растущая потребность в практическом обучении школьников и студентов инженерным и космическим технологиям. Разработка собственного модуля системы наведения позволяет не только углубить знания в области электроники, физики и управления, но и вовлечь учащихся в реальную исследовательскую и конструкторскую деятельность.

В условиях быстрого роста числа миссий с микроспутниками и глобального интереса к управляемым орбитальным системам, создание доступных отечественных модулей ориентации является не просто технической задачей, а вкладом в укрепление конкурентоспособности российской науки и образования. Разработка и испытание собственного модуля системы наведения для CubeSat позволит популяризировать инженерные специальности среди молодёжи и расширить участие российских образовательных учреждений в международных космических программах.

Таким образом, проект сочетает в себе образовательную, научно-техническую и прикладную значимость, а выбранная тема проекта является актуальной, поскольку отвечает современным тенденциям в развитии космических технологий, способствует формированию инженерных навыков учащихся и служит шагом к развитию отечественных решений в

области малых спутников и автономных систем навигации.

## **Цель работы:**

Разработать модуль системы наведения для спутника формата CubeSat с использованием доступных компонентов и технологий с целью импортозамещения и применения в образовательных и исследовательских проектах.

## **Задачи:**

- Анализ кейсового задания и требований к модулю системы наведения для CubeSat.
- Изучение устройства и подсистем спутников формата CubeSat, с особым вниманием к системам ориентации и наведения.
  - Выбор практического варианта архитектуры модуля наведения с учётом ограничений по массе, габаритам и энергопотреблению.
- Проектирование (разработка) модуля системы наведения.
  - Разработка концепции, внешнего вида и эскизов основных узлов модуля (размещение датчиков, исполнительных устройств и платы управления).
  - Проектирование 3D модели модуля, его составных частей и крепления внутри корпуса CubeSat.
  - Подбор электронных компонентов (датчиков, контроллеров, приводов) и разработка электрической принципиальной схемы модуля.
  - Разработка принципов и алгоритмов работы модуля наведения (определение положения, выработка управляющих сигналов, стабилизация ориентации).
    - Составление схемы пользовательского взаимодействия с модулем (через наземную станцию или интерфейс управления).
    - Построение диаграммы конечного автомата, описывающей режимы работы модуля.

- Построение диаграммы последовательности обмена данными между модулем наведения и бортовым компьютером спутника.
- Разработка блоксхем работы алгоритмов ориентации и наведения.
- Исследование существующих методов обработки данных от датчиков и управления ориентацией спутника, выбор подходящего метода для реализуемого прототипа.
- Разработка программного кода для микроконтроллера модуля наведения, реализующего выбранные алгоритмы обработки и управления.
- Создание программного интерфейса (настольного или вебприложения) для мониторинга состояния модуля и передачи команд (при необходимости).
- Прототипирование разработанного модуля системы наведения.
  - Выбор материалов для изготовления корпуса и элементов крепления.
  - Изготовление механических узлов (3Dпечать, фрезеровка или сборка из готовых деталей).
  - Изготовление или монтаж печатной платы с электронными компонентами.
  - Сборка прототипа модуля в габаритах CubeSat и интеграция с макетом спутника (если предусмотрено).
  - Отладка программного кода и проведение испытаний прототипа (тестирование алгоритмов наведения и устойчивости работы).
- Разработка технической документации на модуль системы наведения.
  - Описание конструкции и принципа работы.
  - Подготовка схем, чертежей и 3Dмоделей.
  - Описание алгоритмов и программного обеспечения,

## **Краткое описание устройства**

Модуль системы наведения представляет собой компактное устройство для спутника формата CubeSat, предназначенное для определения и удержания заданной ориентации аппарата в пространстве. Он включает в себя блок датчиков (например, датчики углового положения и магнитометры), вычислительный блок на базе микроконтроллера и исполнительные элементы для корректировки ориентации спутника.

Модуль работает автономно по заложенному алгоритму: измеряет текущее положение спутника, сравнивает его с требуемым и при необходимости формирует управляющие сигналы на исполнительные устройства для поворота или стабилизации аппарата. Управление и мониторинг его работы могут осуществляться оператором через бортовой компьютер спутника и наземную станцию, без прямого физического воздействия.

# Структурная схема

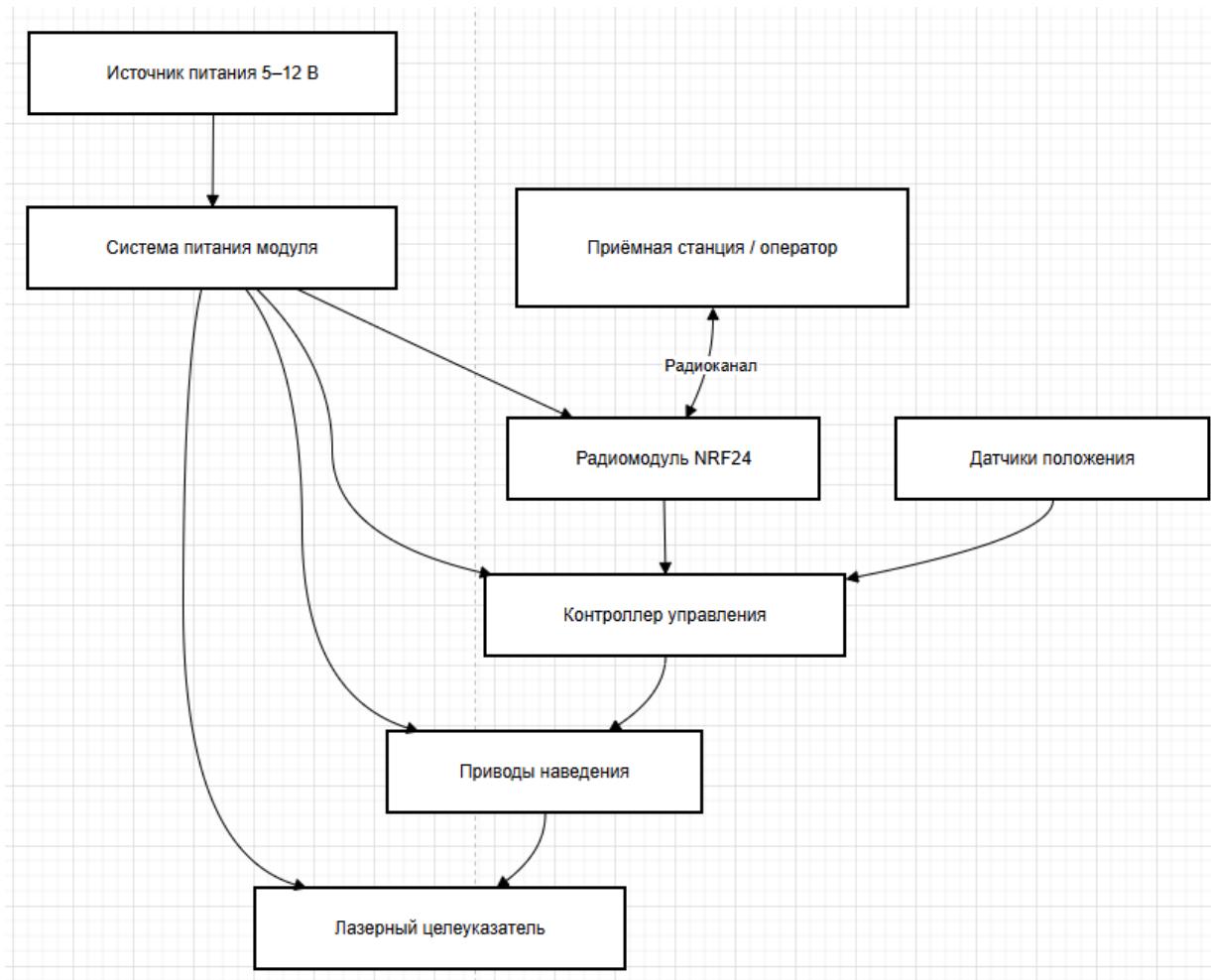


Рисунок 1. Структурная схема устройства

# **1 Функционал устройства**

## **1.1 Элементы Системы**

- Лазерный целеуказатель, излучающий из геометрического центра юнита.
- Приводы наведения по двум осям (наклона и поворота) с диапазоном не менее  $\pm 40^\circ$  по каждой оси.
- Контроллер управления (микроконтроллер Arduino / STM32 или аналогичный).
- Радиомодуль для приёма управляющих команд и передачи телеметрии (NRF24 или эквивалент).
- Система питания модуля (аккумулятор или внешний источник 5–12 В и цепи распределения питания).
- Приёмная станция оператора, обеспечивающая обмен командами и данными по радиоканалу.

## **1.2 Функции согласно ТЗ**

### **1.2.1 Удалённо, через радиоканал:**

- Приём управляющего сообщения, инициирующего цикл работы модуля.
- Передача пакетов данных с уникальным идентификатором устройства, текущими углами наклона и поворота и состоянием режима работы.
- Автоматизированные функции:
- Инициализация всех систем после подачи питания и установка начального положения лазера ( $0^\circ, 0^\circ$ ).
- Наведение лазерного луча из геометрического центра CubeSat по двум взаимно перпендикулярным осям с шагом  $10^\circ$  в диапазоне не менее  $\pm 40^\circ$  по каждой оси.

- Последовательное выполнение режимов сканирования:
  - горизонтальный скан;
  - вертикальный скан;
  - два диагональных скана в заданных диапазонах с шагом  $10^\circ$ .
- Перестановка положения лазера каждые 3 секунды в ходе сканирования.
- Обеспечение задержки между приёмом команды и началом движения лазера не более 2 секунд.
- Функции контроля и испытаний:
- Обеспечение точности наведения на мишень, расположенную на расстоянии 1 м от центра CubeSat.
- Программная компенсация смещения точки излучения при поворотах (при необходимости).
- Возможность отдельного тестирования подсистем: лазер, приводы наведения, радиомодуль, контроллер.

### **1.2.2 Дополнительные функции сверх ТЗ**

- Расширенное логирование телеметрии: запись траекторий сканирования, углов и временных меток в файл или в консоль для анализа работы модуля.
- Сервисные режимы самотестирования (быстрая проверка привода, лазера и радиоканала без запуска полного цикла сканирования)

## **2 3D-модель устройства и прототипирование**

### **2.1 Перечень узлов с описанием и функцией**

- Корпус CubeSat 1U с направляющими рельсами

Описание: Корпус представляет собой алюминиевый каркас в форме куба с габаритами  $100 \times 100 \times 113,5$  мм (включая рельсы), массой 130–150 г. Состоит из 12 панелей и 8 угловых рам с интегрированными направляющими рельсами по всем 12 рёбрам шириной  $\geq 8,5$  мм, закруглениями  $\geq 1$  мм и контактными площадками  $6,5 \times 6,5$  мм. Соответствует CubeSat Design Specification Rev. 13, рассчитан на вибрацию 14g RMS, ускорение 1200g, температуры  $-40\dots+85^\circ\text{C}$ .

Функция: Обеспечивает механическую прочность и защиту внутренних узлов (электроника, батареи, полезная нагрузка) от нагрузок при запуске и на орбите

- Несущий корпус модуля системы наведения

Описание: Несущий корпус — это алюминиевая (сплав 6061-T6) призматическая рама с габаритами  $\sim 90 \times 90 \times 100$  мм (для 1U CubeSat), массой 50–80 г. Имеет ребра жесткости, виброизоляционные прокладки, посадочные места под оптику (камера, линзы) и платы PC/104, отверстия для кабелей, тепловые радиаторы. Обеспечивает стабильность  $<0,1^\circ$  и защиту от вибраций 14g RMS, вакуума и температур  $-40\dots+85^\circ\text{C}$ .

Функция: Надежно удерживает оптико-электронные элементы (камера, гироскопы, актуаторы) в заданном положении.

- Лазерный целеуказатель

Описание: Лазерный целеуказатель в модуле системы наведения CubeSat 1U — компактный полупроводниковый лазерный диод (длина волны 650–850 нм, мощность 1–5 мВт) в оптическом модуле с коллиматором и линзами. Габариты  $\sim 30 \times 30 \times 20$  мм, масса 20–30 г, питание 3,3–5 В (ток 50–200 мА). Монтируется на несущем корпусе с точной оптической осью, совместим с камерой для захвата отраженного сигнала, стабилизирован вибропоглотителями.

Функция: Повышает контрастность изображения в условиях низкой освещенности для повышения эффективности алгоритмов компьютерного зрения.

- Система приводов наведения по двум осям

Описание: Система приводов наведения по двум осям (азимут и угол места) в модуле CubeSat 1U состоит из двух шаговых микродвигателей или сервоприводов (типа NEMA8 или микро-серво SG90), кинематической схемы с рычагами/шестернями и контроллера на базе микроконтроллера (Arduino Nano/ESP32). Диапазон вращения  $\pm 30^\circ$  по каждой оси, шаг 0,01–0,1°, скорость 1–5°/с, габариты 50×50×40 мм, масса 40–60 г, питание 5 В (ток до 500 мА). Крепится на несущем корпусе с демпферами, интегрируется с лазерным целеуказателем и камерой.

Функция: Устанавливает заданные углы для проверки системы ориентации спутника и передачи телеметрии на наземную станцию.

- Датчики положения (концевые выключатели / энкодеры)

Описание: Датчики положения в системе приводов наведения CubeSat 1U включают два концевых микровыключателя (по осям) и оптические/магнитные энкодеры с разрешением 0,01°. Концевые выключатели (типа Omron microswitch) определяют крайние положения ( $\pm 30^\circ$ ), энкодеры отслеживают текущий угол с точностью 1024

импульсов/оборот. Габариты  $10 \times 5 \times 3$  мм каждый, масса 5–10 г, питание 3,3 В, ток <10 мА, интерфейс цифровой (GPIO). Интегрированы на рычагах приводов для обратной связи в реальном времени.

Функция: Концевые выключатели блокируют движение за пределы  $\pm 30^\circ$ , предотвращая механические повреждения приводов.

- Контроллер управления

Описание: Контроллер управления в модуле системы наведения CubeSat 1U — это микроконтроллер на базе STM32F103 (или Arduino Nano/ESP32), размещенный на плате формата  $30 \times 30$  мм. Имеет 32-битный процессор (72 МГц), 64 КБ Flash, 20 КБ RAM, интерфейсы I2C/SPI/UART для связи с приводами, энкодерами, камерой и бортовой шиной. Питание 3,3 В, потребление 50–150 мА, работает при  $-40\ldots+85^\circ\text{C}$ , с watchdog-таймером и защитой от сбоев. Интегрирован на несущем корпусе с разъемами для телеметрии.

Функция: Опрашивает энкодеры и концевые выключатели, формирует обратную связь для слежения за целью и PID-регулирования.

- Радиомодуль (NRF24 или эквивалент)

Описание: Радиомодуль NRF24L01+ в модуле системы наведения CubeSat 1U — компактный 2,4 ГГц трансивер (чип Nordic nRF24L01) формата  $15 \times 29$  мм, масса 2–5 г. Частота 2,400–2,527 ГГц (126 каналов), скорости 250 кбит/с–2 Мбит/с (GFSK-модуляция), дальность до 100 м (прямая видимость), мощность 0...+20 дБм. Интерфейс SPI, питание 1,9–3,6 В (ток 12 мА прием/115 мА передача), температура  $-40\ldots+85^\circ\text{C}$ . Подключается к контроллеру для передачи команд/телеметрии на наземную станцию или соседние модули.

Функция: Поддерживает звездообразную сеть или mesh для связи с другими CubeSat или наземными приемниками.

- Система питания модуля

**Описание:** Система питания модуля наведения CubeSat 1U — компактный блок на базе Li-Po аккумулятора (3,7 В, 200–500 мАч) с повышающим/понижающим DC/DC-преобразователями (типа TPS63020/MCP1640). Обеспечивает стабилизированные 5 В/1 А и 3,3 В/500 мА для приводов, контроллера, NRF24 и лазера. Габариты 40×30×10 мм, масса 20–30 г, с защитой от переразряда (порог 3 В), перегрузки и короткого замыкания. Подключается к общейшине PC/104 спутника через разъемы.

**Функция:** Обеспечивает работу модуля до 30 мин без внешнего питания для наземных тестов и аварийных режимов.

- Органы управления питанием и аварийной остановки

**Описание:** Органы управления питанием и аварийной остановки в модуле наведения CubeSat 1U — электронный блок с MOSFET-ключом (типа IRF9540N), kill-switch (реле или твердотельный выключатель) и кнопкой аварийного отключения. Габариты 20×20×10 мм, масса 5–10 г, питание 3,3–5 В, ток отключения до 2 А. Включает аналого-цифровой мониторинг напряжения/тока (INA219 чип), светодиодные индикаторы статуса и интерфейс с контроллером по I2C для программного управления.

**Функция:** Измеряет напряжение, ток потребления приводов/лазера, передает телеметрию каждые 3 секунды.

- Приёмная станция (наземный модуль)

**Описание:** Приёмная станция для модуля наведения CubeSat 1U — наземный блок на базе Arduino Nano с радиомодулем NRF24L01+ (2,4 ГГц), антенной и LCD-дисплеем (16×2). Габариты 50×40×20 мм, питание USB 5 В или батарея 3,7 В, дальность приёма до 100 м (линейная видимость). Подключение NRF24 по SPI (CE=9, CSN=10, SCK=13, MOSI=11, MISO=12), с совместимыми адресами и каналом спутника. Отображает углы наведения, статус датчиков и RSSI сигнала в реальном времени.

**Функция:** Передаёт углы наведения и служебные команды (включение

лазера, калибровка) на спутник с подтверждением доставк

## 2.2 Описание кинематической системы

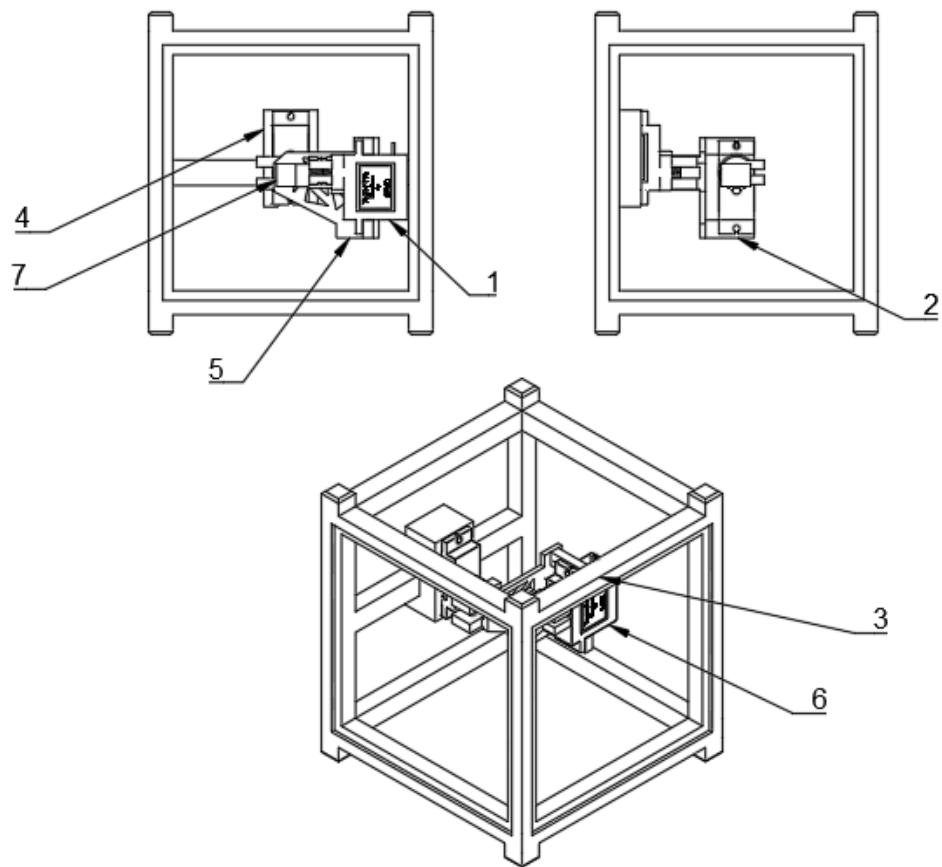


Рисунок 2. Описание кинематической системы устройства

- 1) Серво двигатель поворота турели
- 2) Кронштейн серво поворота лазера
- 3) Рама кубсата
- 4) Кронштейн серво поворота турели
- 5) Серво поворота лазера
- 6) Канал прокладки проводов

## 2.2 3D модель

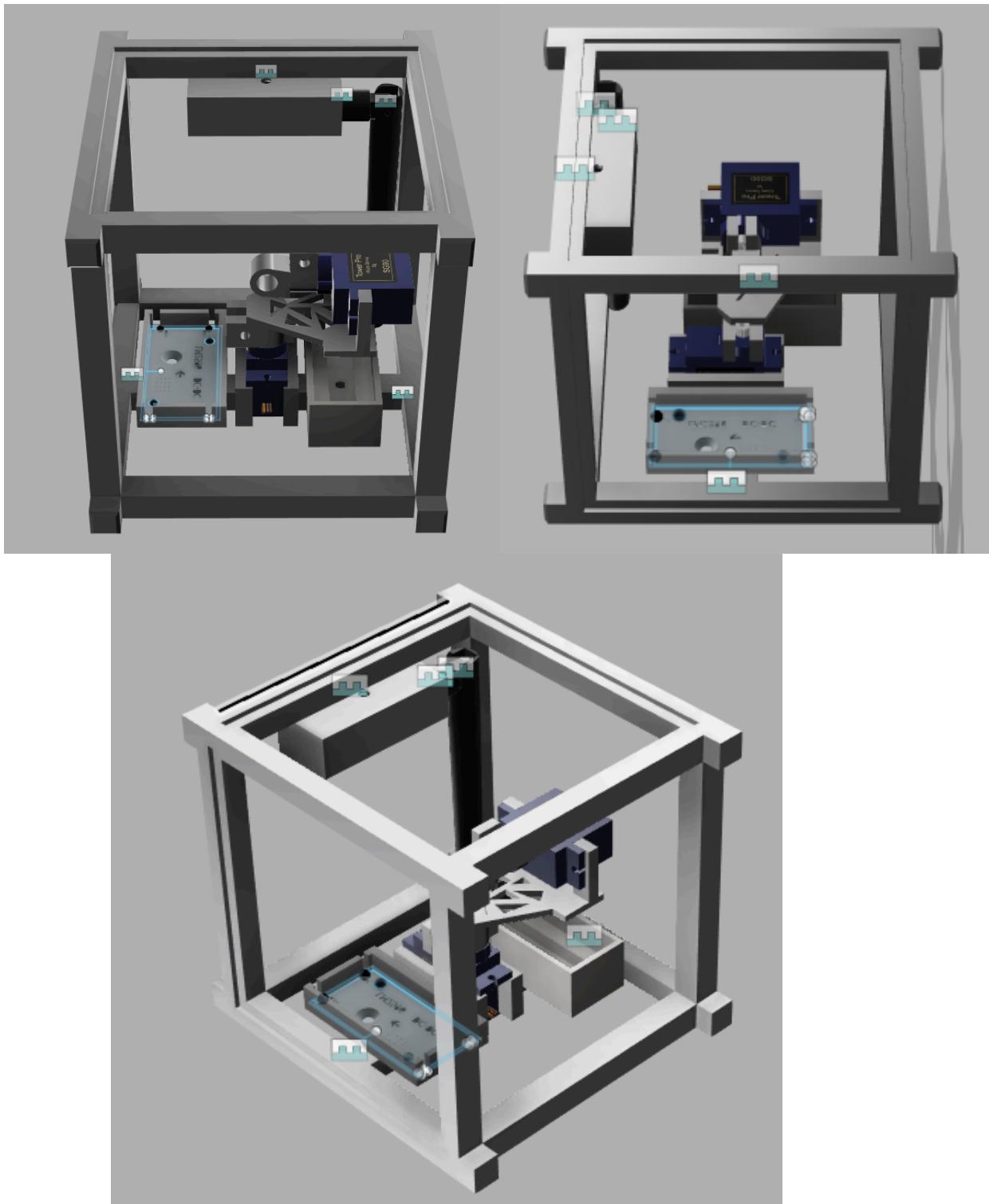


Рисунок 3-5. 3D-модель устройства

### **3 Описание электротехнической части**

#### **3.1 Описание узлов**

Электротехническая часть модуля наведения CubeSat 1U состоит из компактных электронных блоков, обеспечивающих управление приводами, датчиками, связью и питанием в ограниченном объеме 1U. Все узлы интегрированы на платах формата PC/104 (90×90 мм), с общей шиной питания 3,3/5 В и интерфейсами I2C/SPI/UART для взаимодействия. Рассчитаны на работу в вакууме, при -40...+85°C и вибрациях 14g RMS.

#### **3.2 Блок управления и радиоинтерфейс**

Главным элементом схемы выступает микроконтроллер Arduino Nano, благодаря которому реализованы функции инициализации, такие как обработки радиосообщений, расчёта текущих улов и управления приводами. С помощью интерфейса SPI подключен радиомодуль диапазона 2,4 ГГц(NRF), обеспечивающий передачи телеметрии с указанием идентификатора устройства, углов наведения текущего режима работы, также прием управляющих команд от приемных станций.

#### **3.3 Система питания и защитные элементы**

Питание модуля осуществляется от внешнего источника или аккумуляторного блока с номинальным напряжением 5–12 В. На входе установлены элементы защиты и фильтрации, после чего напряжение подаётся на понижающие и стабилизирующие преобразователи, формирующие линии питания для контроллера, радиомодуля, приводов и лазерного целеуказателя.

Силовая часть, питающая приводы, рассчитана на кратковременные пусковые токи и отделена от цепей логики, что снижает уровень помех на сигнальных линиях. В схему введён выключатель питания и аппаратный элемент аварийной остановки, обеспечивающие обесточивание или

аппаратный сброс устройства при проведении испытаний и в нештатных ситуациях.

### 3.4 Электронные компоненты и их назначения

**Таблица 1 - Таблица электронных компонентов модуля наведения**

Обозначение	Устройство	Пример модели	Основные характеристики	Назначение
MCU	Микроконтроллер	Arduino / STM32	Питание 3,3–5 В; такт. частота 16–72 МГц	Управление приводами, лазером и радиомодулем
RF	Радиомодуль	NRF24L01+	2,4 ГГц; SPI; питание 3,3 В	Приём команд и передача телеметрии
SERVO_X	Привод по оси поворота	Серво / шаговый двигатель	5–12 В; ход не менее $\pm 40^\circ$	Позиционирование по оси поворота
SERVO_Y	Привод по оси наклона	Серво / шаговый двигатель	5–12 В; ход не менее $\pm 40^\circ$	Позиционирование по оси наклона
DRV_X	Драйвер привода оси X	Для серво/шага	Соответствие типу привода	Усиление и коммутация сигнала управления
DRV_Y	Драйвер привода оси Y	Для серво/шага	Соответствие типу привода	Усиление и коммутация сигнала управления

<b>Обозначение</b>	<b>Устройство</b>	<b>Пример модели</b>	<b>Основные характеристики</b>	<b>Назначение</b>
LASER	Лазерный модуль	Лазерный целеуказатель	3–5 В; непрерывное излучение	Формирование луча из центра CubeSat
LIM_X	Концевой датчик оси X	Mех./оптическ ий	3,3–5 В; цифровой выход	Калибровка и ограничение хода по оси X
LIM_Y	Концевой датчик оси Y	Mех./оптическ ий	3,3–5 В; цифровой выход	Калибровка и ограничение хода по оси Y
PSU_IN	Входной источник питания	АКБ / внешний БП	5–12 В; ток по расчёту	Питание всего модуля
DC_DC	Понижающий преобразователь	DC–DC конвертер	Вход 5–12 В; выход 3,3–5 В	Питание логики и периферии
SW_MAIN	Выключатель питания	Тумблер / клавиша	Соответствие входному напряжению	Включение/выкл ючение модуля
SW_EMERG	Кнопка аварийной остановки	Кнопка	Аппаратный сброс / разрыв цепи	Экстренная остановка работы

**Таблица 2 - Таблица электронных компонентов базовой станции**

Обозначение	Устройство	Пример модели	Основные характеристики	Назначение
MCU_GCS	Микроконтроллер / интерфейс ПК	Arduino / STM32 / USB-UART	3,3–5 В (для МК); стандартные скорости UART	Формирование и приём радио-сообщений
RF_GCS	Радиомодуль	NRF24L01+	2,4 ГГц; SPI; питание 3,3 В	Связь с модулем наведения
UI_KEYS	Органы управления	Кнопки / энкодер	Логические уровни 3,3–5 В	Задание команд запуска и режимов
DISP	Индикация	LCD / OLED / светодиоды	Питание 3,3–5 В	Отображение состояний и параметров
PSU_GCS	Источник питания	USB 5 В / внешний БП	5 В; ток по потреблению станции	Питание базовой станции
USB_IF	Интерфейс связи с ПК (опция)	USB-UART адаптер	5 В; поддержка стандартных скоростей передачи	Вывод логов и телеметрии на компьютер

### 3.5 Монтажная схема

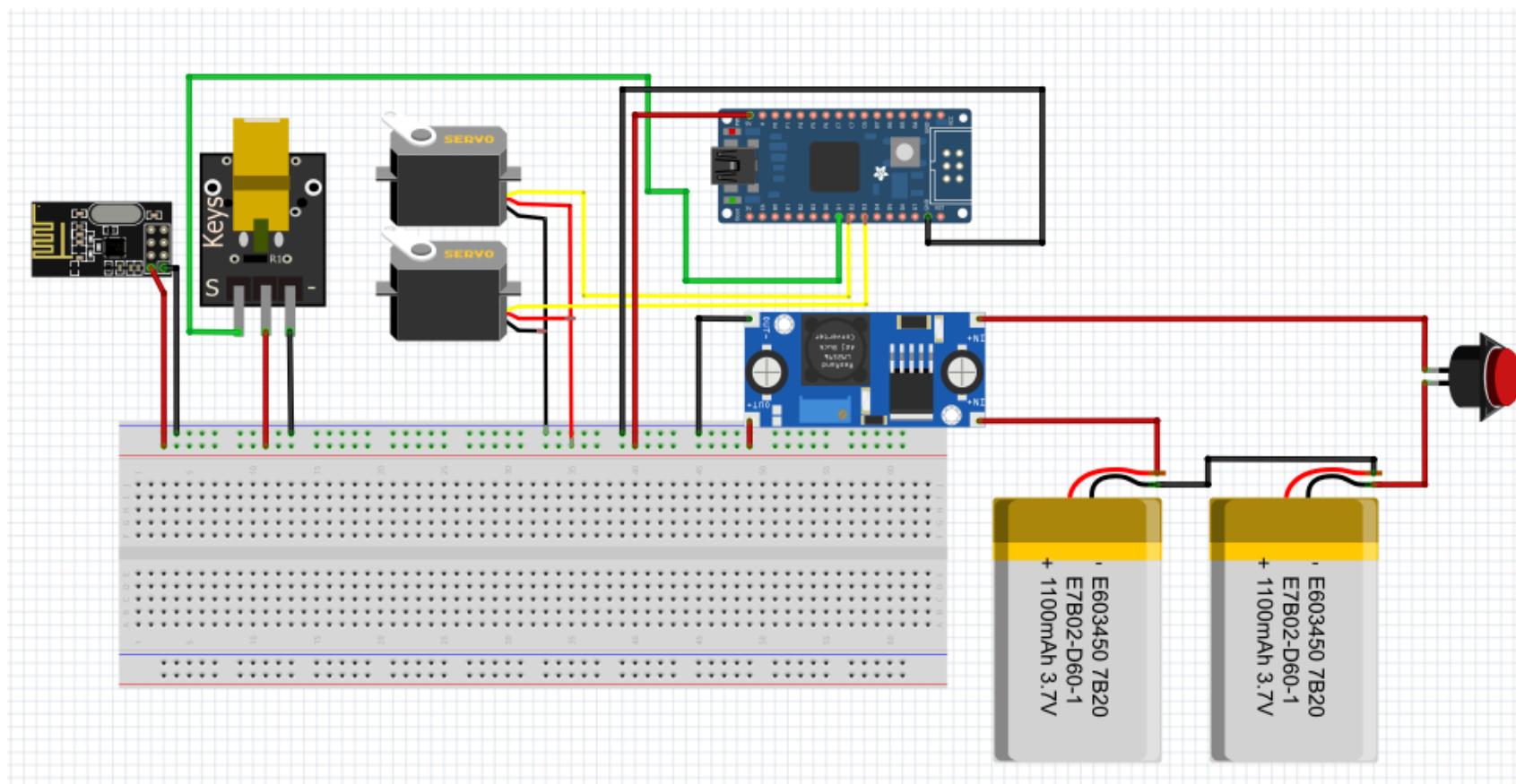


Рисунок 6. Монтажная схема

### 3.6 Потенциальная схема

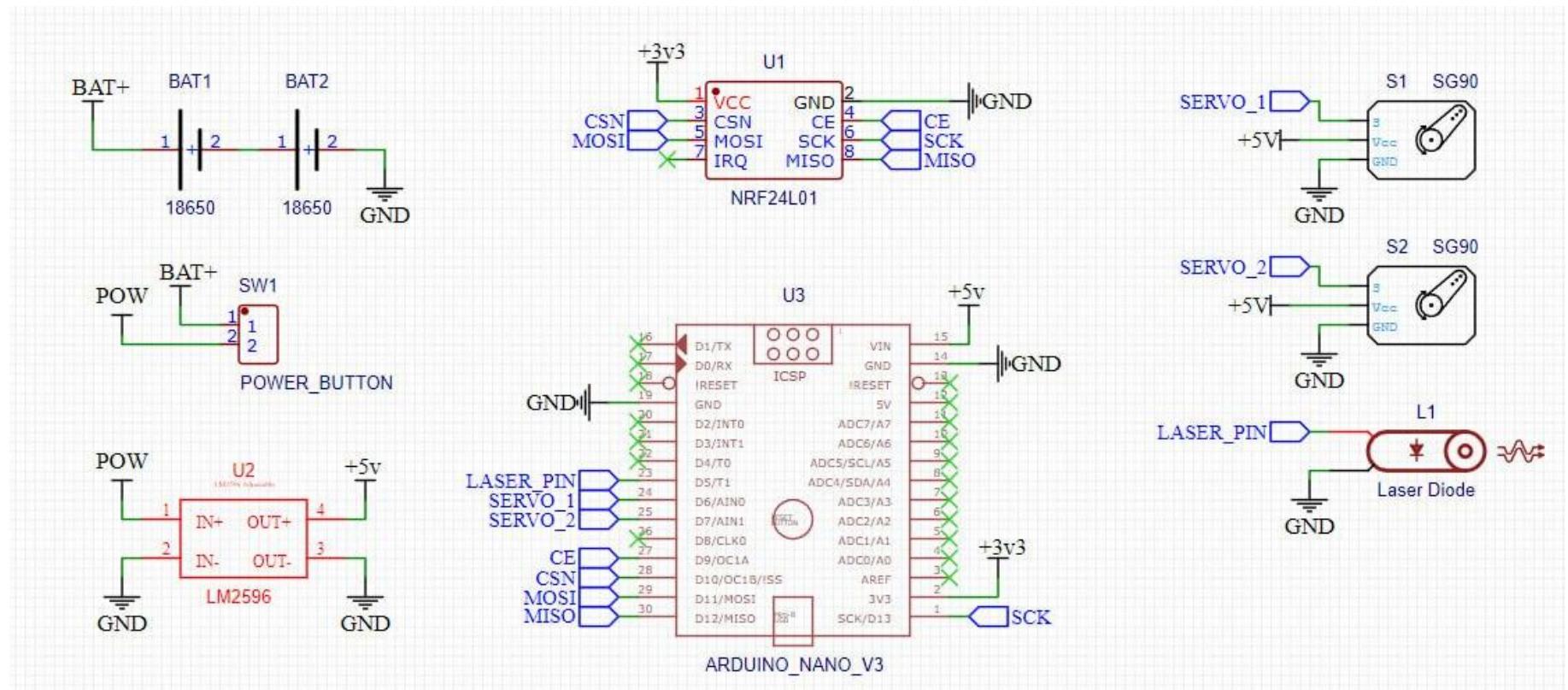


Рисунок 7. Потенциальная схема

### 3.7 Таблица подключений

**Таблица 3 - Таблица подключений электронных компонентов**

№ пина МК	Обозначение пина	Подключенное устройство	Пин устройства	Комментарий
D13	SCK	Радиомодуль NRF24L01+	SCK	Тактовая линия SPI
D11	MOSI	Радиомодуль NRF24L01+	MOSI	Передача данных к радиомодулю
D12	MISO	Радиомодуль NRF24L01+	MISO	Приём данных от радиомодуля
D10	CSN	Радиомодуль NRF24L01+	CSN (CS)	Выбор микросхемы SPI
D9	CE	Радиомодуль NRF24L01+	CE	Управление режимами приёма/передачи
3V3	3V3	Радиомодуль NRF24L01+	VCC	Питание радиомодуля 3,3 В
GND	GND	Радиомодуль NRF24L01+	GND	Общий провод
D2	BUTTON_START	Кнопка «Старт»	Один вывод кнопки	Запуск цикла; второй вывод на GND через резистор
D3	BUTTON_STOP	Кнопка «Стоп»	Один вывод кнопки	Остановка; второй вывод на GND через резистор
D4	LED_STATUS	Светодиод состояния	Анод через резистор	Индикация режима работы
GND	GND	Светодиод состояния	Катод	Общий провод
D5	UI_EXTRA	Доп. элемент	Вход/выход	Пользовательская

<b>№ пина МК</b>	<b>Обозначение пина</b>	<b>Подключенное устройство</b>	<b>Пин устройства</b>	<b>Комментарий</b>
		интерфейса	элемента	функция
USB	USB	Компьютер (опция)	Порт USB/USB– UART	Передача логов и телеметрии

# 4 Программное обеспечение

## 4.1 Диаграмма последовательности

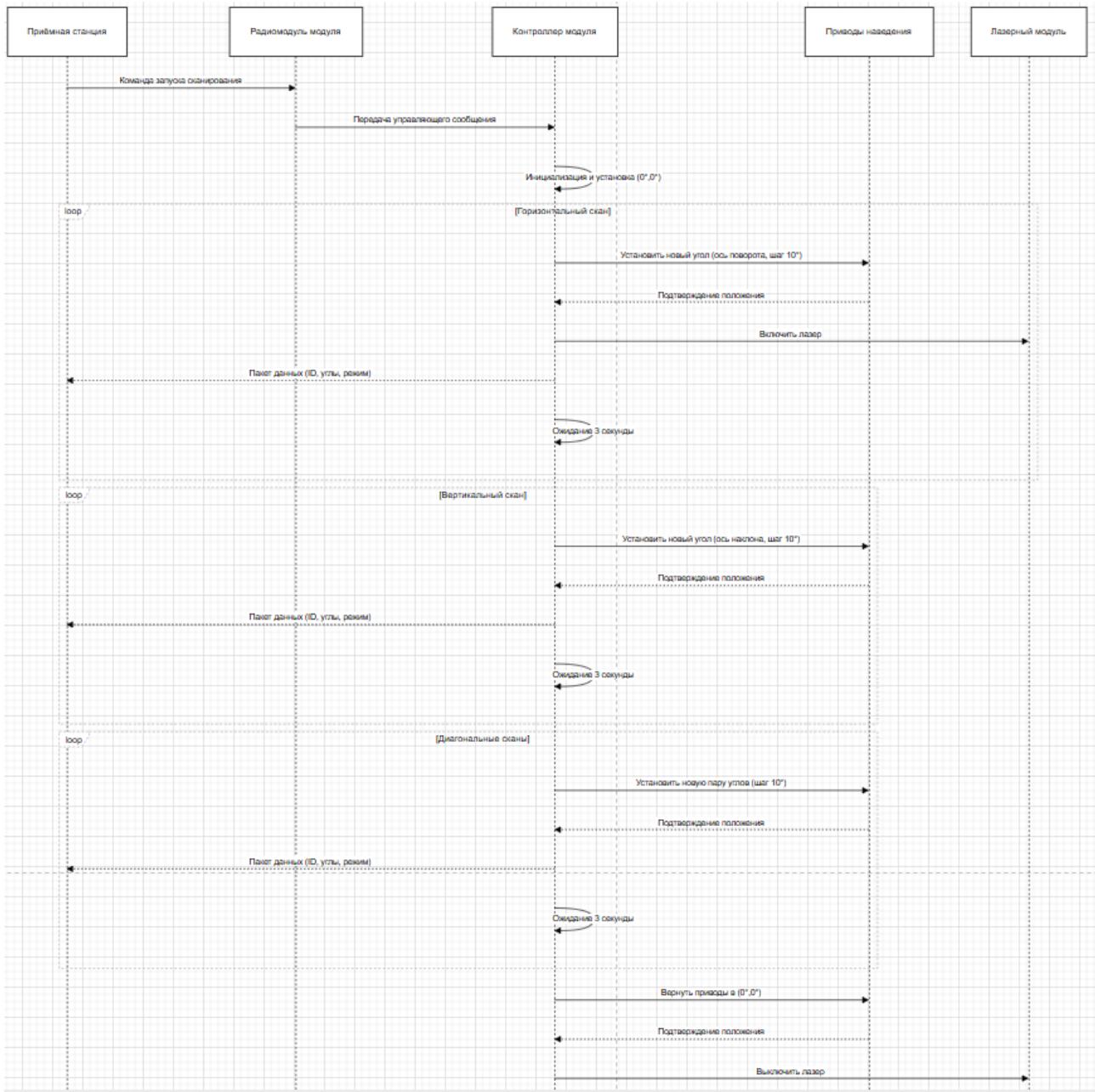


Рисунок 8. Диаграмма последовательности

## 4.2 Диаграмма конечного автомата

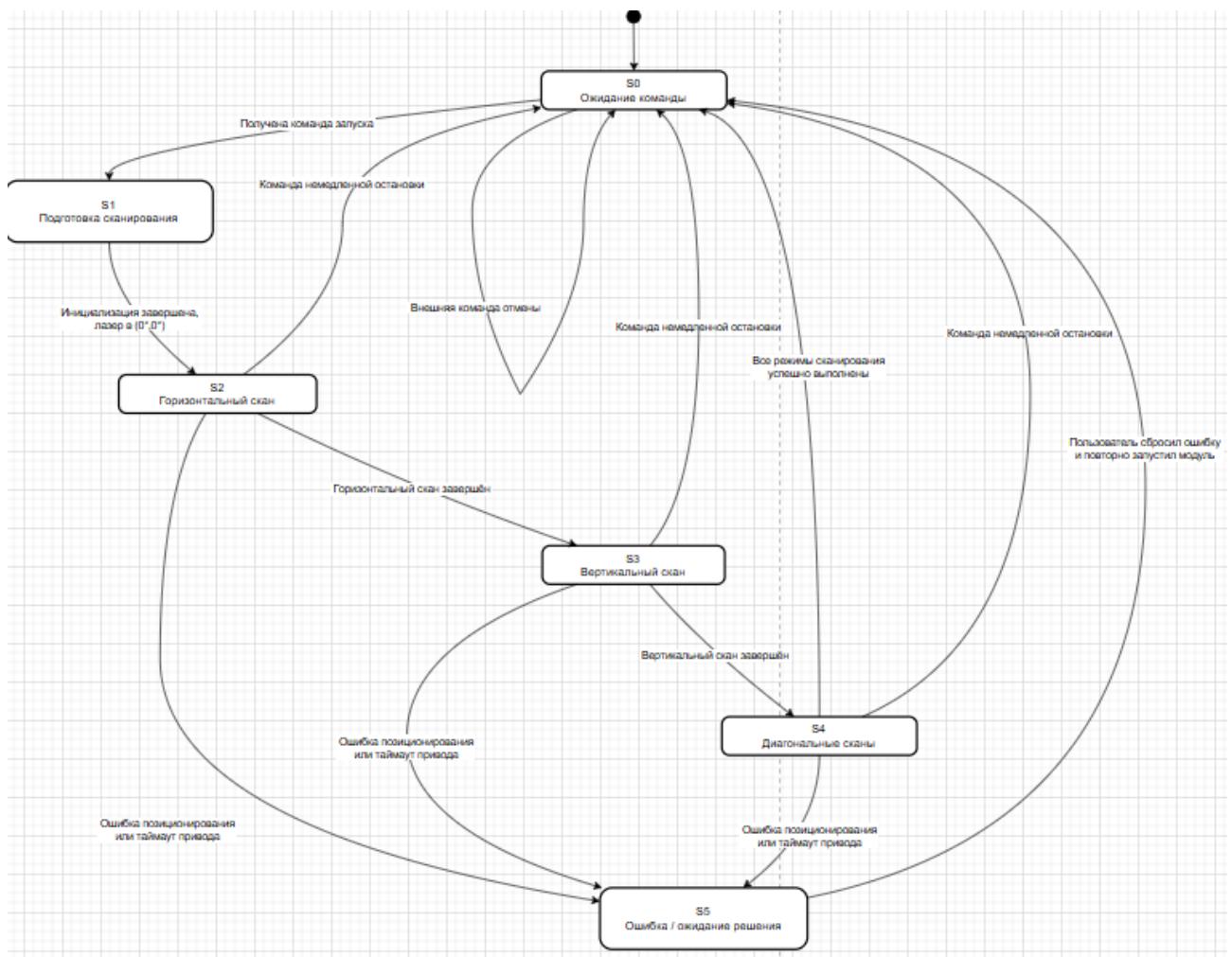


Рисунок 9. Диаграмма конечного автомата (State Machine)

#### 4.3 Блок-схема алгоритма

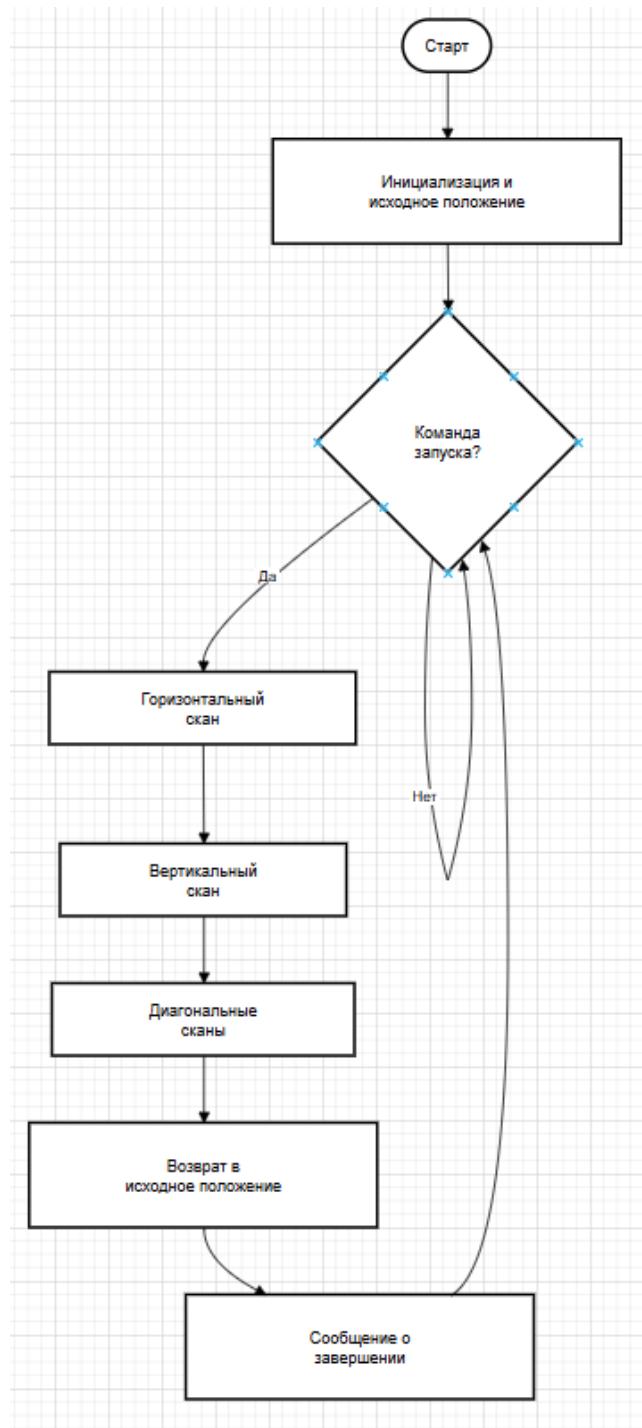


Рисунок 10. Блок-схема алгоритма кода

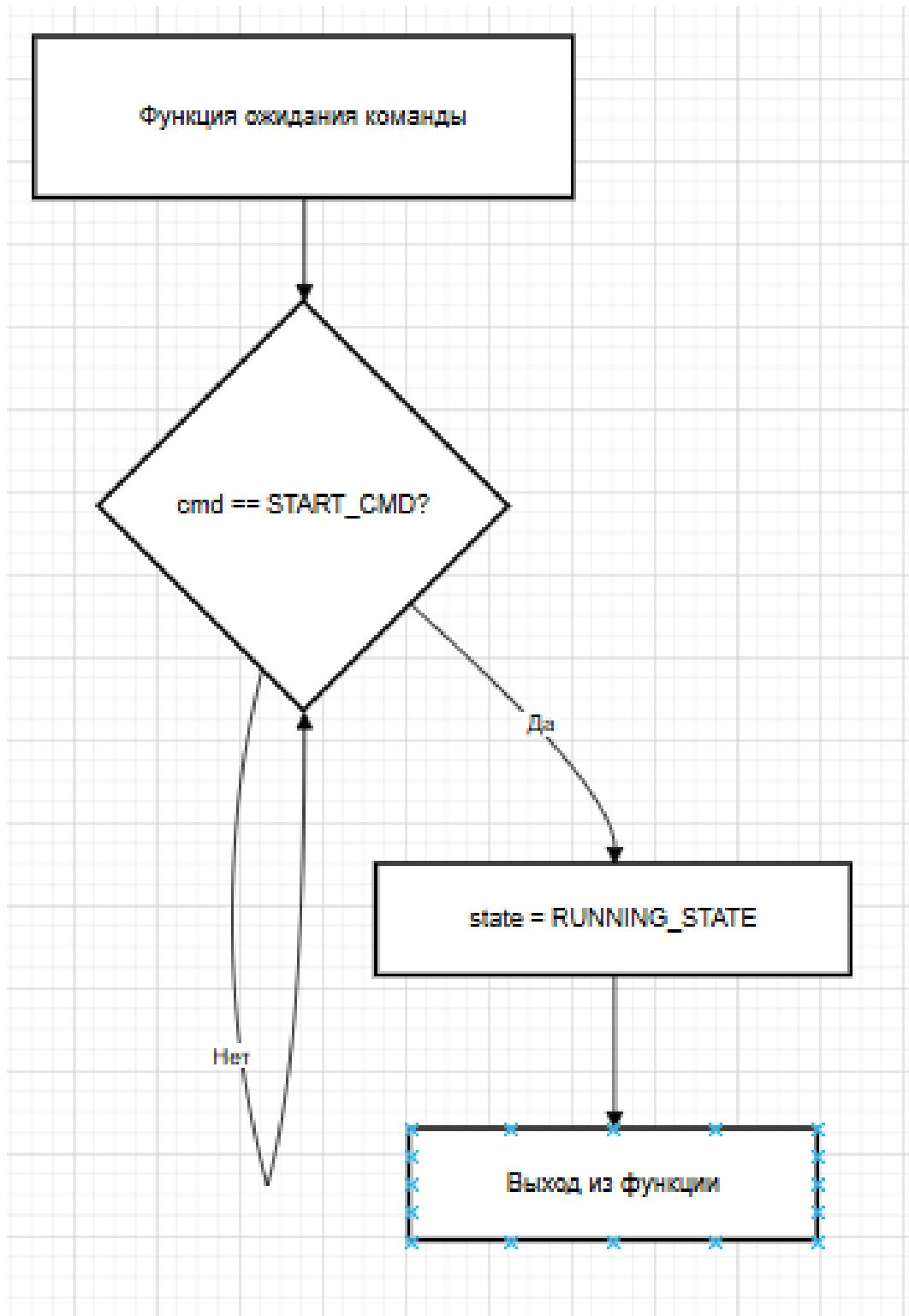


Рисунок 11. Блок-схема алгоритма кода

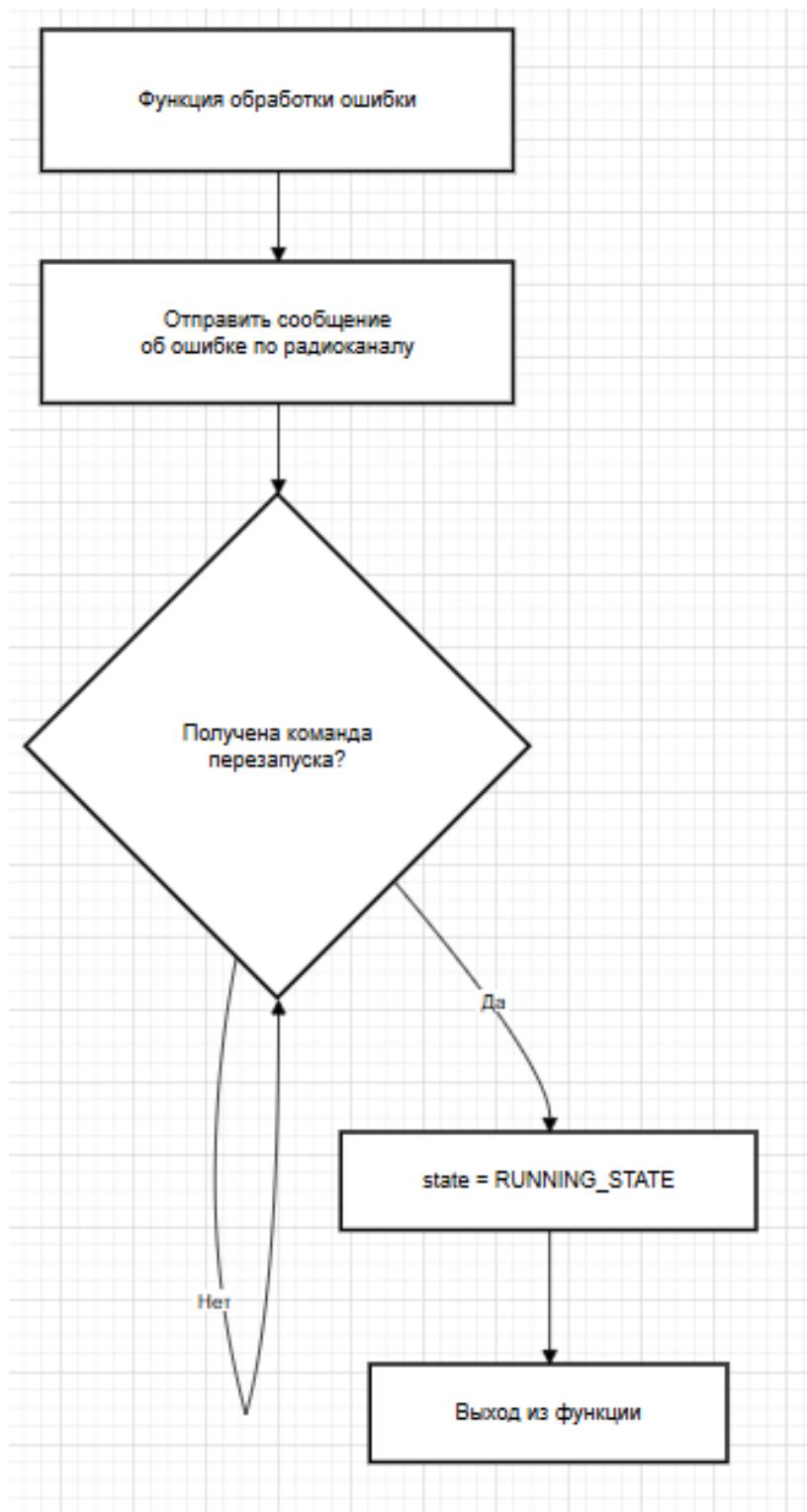


Рисунок 12. Блок-схема алгоритма кода

## **4.4 Список используемых библиотек с комментарием**

Библиотеки для микроконтроллера модуля наведения

- Библиотека работы с радиомодулем NRF24

Используется для обмена данными по радиоканалу между модулем наведения и приёмной станцией, инкапсулирует низкоуровневые операции SPI и формирование пакетов.

- Библиотека управления сервоприводами / шаговыми двигателями

Обеспечивает удобный интерфейс задания углов или количества шагов для приводов по осям наклона и поворота, упрощает реализацию дискретного позиционирования с шагом 10°.

- Библиотека работы с таймерами и задержками

Применяется для реализации временных интервалов между изменениями положения лазера (например, выдержка 3 секунды в каждой точке сканирования).

Библиотеки для приёмной станции / ПК

- Библиотека работы с последовательным портом (Serial / USB-UART)

Используется для вывода телеметрии, отладочной информации и логов работы модуля на компьютер.

- Библиотека пользовательского интерфейса (консольный или графический)

Позволяет реализовать удобный интерфейс оператора для отправки команд запуска, остановки и перезапуска, а также отображения текущих углов и режима работы модуля.

#### **4. 6 Исходники программного кода**

[azulusolat583-dot/1](#)

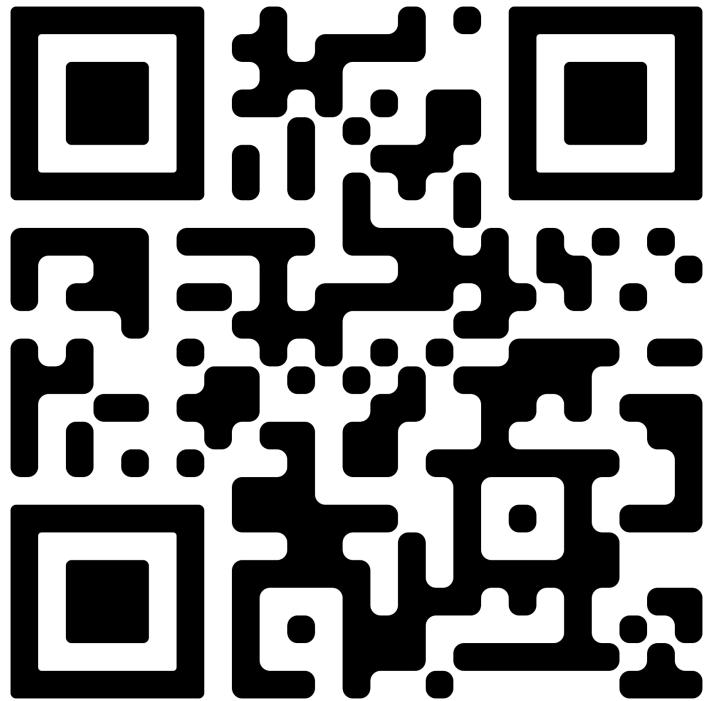


Рисунок 13. QR-код на GitHub с актуальным кодом



# **Заключение**

## **Итоги проведенной работы**

В ходе работы разработана и описана система наведения лазерного целеуказателя, интегрируемая в габариты CubeSat 1U и обеспечивающая наведение из геометрического центра корпуса по двум взаимно перпендикулярным осям. Реализуемый функционал включает приём команд по радиоканалу, автоматизированные режимы сканирования с шагом 10° и задержкой 3 секунды, а также передачу телеметрии с идентификатором устройства, текущими углами и режимом работы.

Сформированы структурная схема устройства, перечень узлов, описание электротехнической части и таблицы электрокомпонентов для модуля наведения и базовой станции. Разработаны диаграммы последовательностей, конечного автомата и компактные блок-схемы, описывающие ожидание команды запуска, выполнение сканирования и обработку ошибок. Определён набор программных библиотек, необходимых для реализации радиосвязи, управления приводами и временных интервалов.

- Сформулированы и оформлены функциональные требования к модулю наведения и базовой станции в соответствии с техническим заданием.[cite:0]
- Определена архитектура системы, включающая механическую, электротехническую и программную части, с указанием функций основных узлов.
- Подготовлены структурная схема, таблицы компонентов и подключений, а также диаграммы алгоритмов и состояний, необходимые для этапов проектирования и испытаний.
- Описаны принципы работы программного обеспечения: последовательность режимов сканирования, обмен данными по радиоканалу

и реакции на ошибочные ситуации.

Полученный комплект документации - может служить основой для разработки 3D-моделей, принципиальных электрических схем, программного обеспечения микроконтроллера и проведения стендовых испытаний системы наведения.

## **Выводы**

- Разработана и описана система наведения лазерного целеуказателя для CubeSat 1U, обеспечивающая наведение из геометрического центра корпуса и работу по двум взаимно перпендикулярным осям.
- Сформирован полный набор документации: структурная схема, перечень узлов, описание электротехнической части, таблицы компонентов и подключений, а также диаграммы алгоритмов и состояний.
- Определены программные функции модуля и базовой станции, включая обмен по радиоканалу, режимы сканирования, обработку ошибок и сервисные возможности, что создаёт основу для разработки ПО и конструкторской документации.
- Подготовленный материал позволяет перейти к этапам детального проектирования 3D-моделей, принципиальных схем, написания прошивки и последующих стендовых испытаний системы наведения.

## **Список литературных источников**

**1. Алипбаев, К. А., Ермолина, Г. Т., Бапышев, А. М., Мырзабеков, К. М., Ибраим, М. С.**

Проектирование наноспутника CubeSat. Том II : монография. – Алматы : Дарын, 2023. – 109 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/135080.html> (дата обращения: 28.12.2025).

**2. Научный коллектив НТУУ «КПИ».**

Создание и исследование характеристик университетского наноспутника формата CubeSat для дистанционных наблюдений Земли : науч. отчёт. – 2023. – URL:<https://patents.google.com/patent/RU2651309C1/ru> (дата обращения: 28.12.2026).

**3. Коллектив авторов.**

Моделирование системы ориентации и стабилизации малого космического аппарата // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 3 (141). – URL: <https://research-journal.org> (дата обращения: 03.01.2026).

**4. Международный союз электросвязи (МСЭ).**

Справочник по малым спутникам. ITU-R : русскоязычная версия издания 2023 года. – URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb.pdf) (дата обращения: 08.01.2026).

**5. Коллектив авторов.**

Астрономия. Космос. МКА. Малые космические аппараты. CubeSat : учебно-методич. изд. – 2024. – URL: <https://www.cnews.ru> (дата обращения: 15.01.2026).

**6. Неустроев, С. П. и др.**

Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов : обновлённое электронное изд. – 2024. – URL: <https://trudymai.ru/upload> (дата обращения: 15.01.2026).

## **7. Учебный курс ТПУ.**

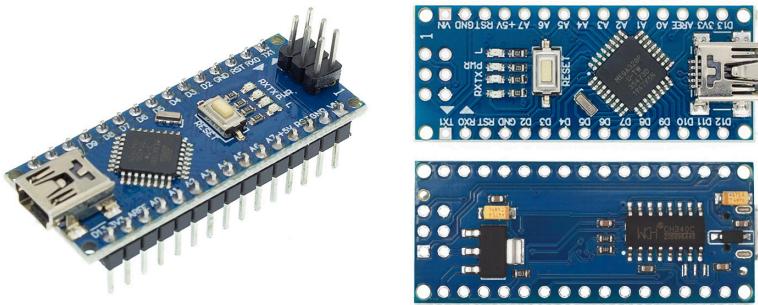
Основы конструирования малых космических аппаратов : метод. мат-лы дисциплины. – 2023. – URL:

<https://edu.study.tusur.ru/publications/10493/download> (дата обращения: 03.02.2026).

## **8. Кейс-проект «Наноспутник формата CubeSat» (направление «Космические технологии»).**

Метод. материалы для проектной деятельности школьников и студентов. – 2024. – URL: <https://eee-science.ru/item-work/2023-2158/> (дата обращения: 10.01.2026).

## Приложение А

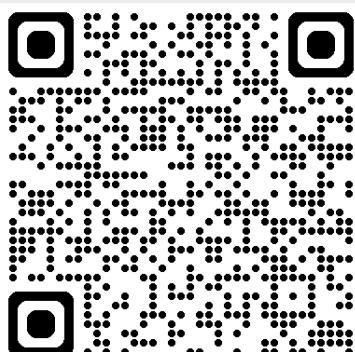


Микроконтроллер: ATmega328P

- Тактовая частота: 16 МГц
- Рабочее напряжение: 5 В
- Рекомендуемое входное напряжение (VIN): 7–12 В
- ОЗУ (SRAM): 2 КБ
- Flash-память: 32 КБ (часть объёма занята загрузчиком)
- EEPROM: 1 КБ
- Цифровые входы/выходы: 14 (из них 6 с поддержкой PWM)
- Аналоговые входы: 8
- Интерфейсы: UART, I<sup>2</sup>C, SPI
- Габаритные размеры платы: около 43 × 18 мм

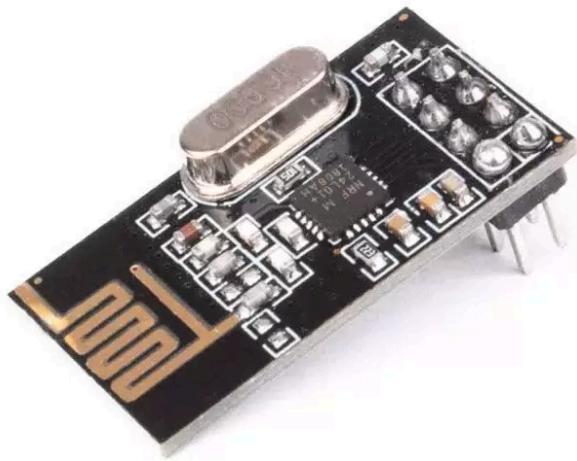
---

QR на товар:



## Приложение Б

Технические характеристики радиомодуля NRF24L01 (без выносной антенны):



- Рабочая частота: 2,4 ГГц
- Диапазон напряжения питания: 1,9–3,6 В (рекомендуется 3,3 В)
- Интерфейс: SPI
- Скорость передачи данных: 250 кбит/с, 1 Мбит/с, 2 Мбит/с
- Максимальная мощность передатчика: до 0 dBm (1 мВт)
- Типичная дальность связи (открытое пространство): до 50–100 м
- Количество каналов: 125 частотных каналов
- Поддержка до 6 приёмных «трубопроводов» (pipe) с разными адресами
- Аппаратная поддержка проверки целостности (CRC) и автоповторной передачи
- Типовая потребляемая мощность: единицы мА в режиме приёма/передачи, микромамперы в режиме ожидания
- Габаритные размеры платы модуля: порядка 15 × 29 мм.

## Приложение В

Сервопривод SG90 (с металлическим редуктором)



Технические характеристики сервопривода SG90 (с металлическим редуктором):

- Рабочее напряжение: 4,8–6 В
- Тип управления: ШИМ (PWM), стандартный управляющий импульс 1–2 мс с периодом  $\approx$  20 мс
- Угол поворота: примерно 180° (зависит от конкретной версии и настроек)
- Крутящий момент: порядка 1,8–2,5 кг·см при 4,8–6 В (для версии с металлическим редуктором обычно ближе к верхней границе)
- Скорость вращения: около 0,10–0,12 с/60° при 4,8–6 В
- Масса: примерно 12–15 г
- Тип редуктора: металлический
- Интерфейс подключения: 3-проводной (питание+, GND, сигнал управления)
- Габаритные размеры корпуса: около 22,8 × 12,2 × 28,5 мм