

Проект  
“Воздушно-инженерная школа  
(CanSat в России)”

Команда  
“КНПН”

**Куратор**  
**Черкасова Марина**  
*9 год участия в ВИШ*

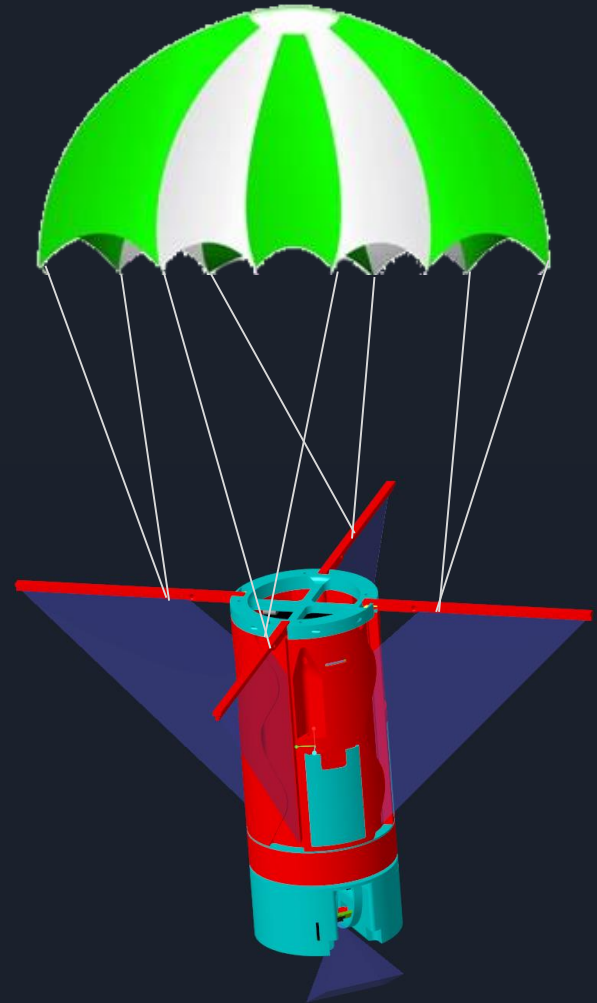
Команда  
**Екимиани Роман**  
*Электронщик, 2 год участия в ВИШ*

**Клишин Илья**  
*Конструктор, 2 год участия в ВИШ*

**Юбко Артемий**  
*Программист, 2 год участия в ВИШ*

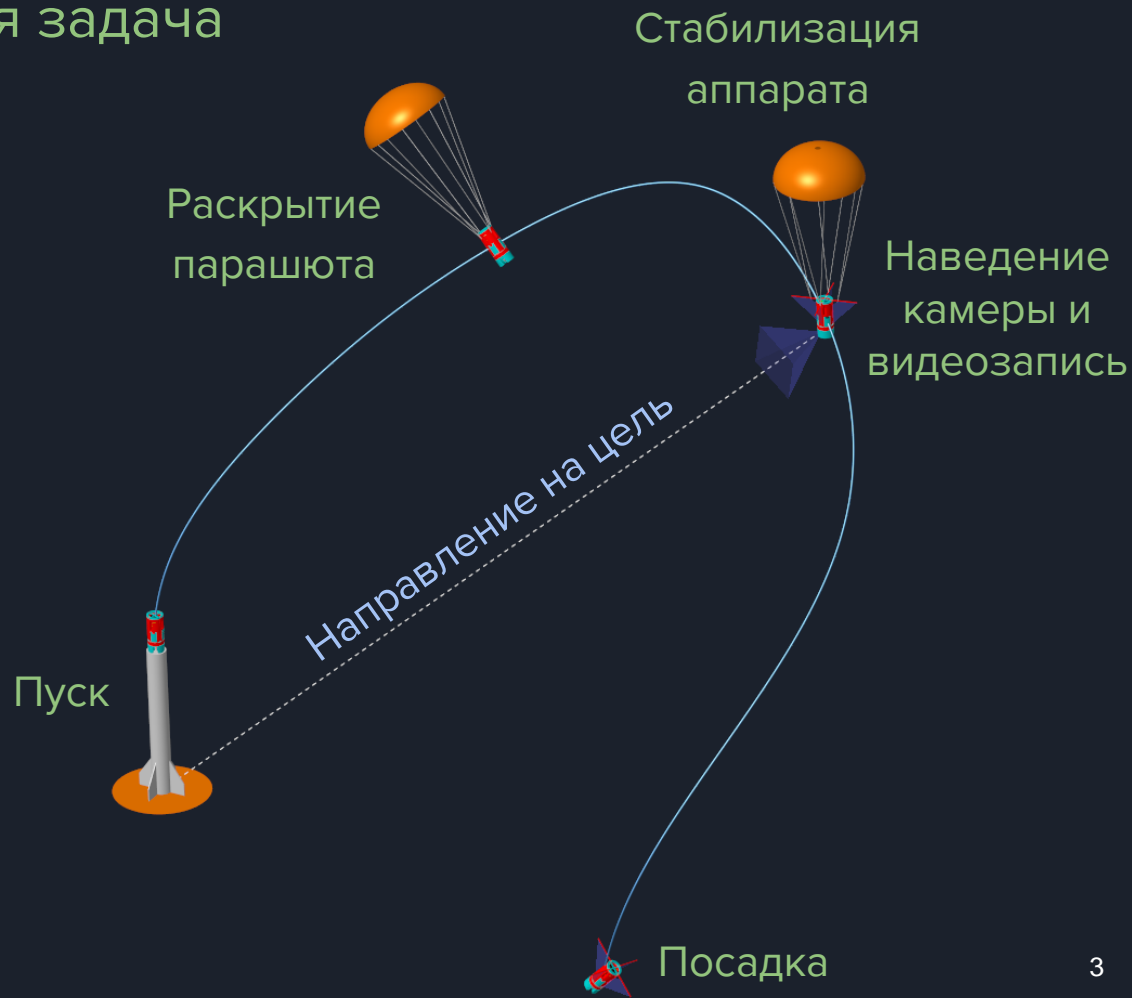
# Обязательные задачи проекта

- Измерение распределения давления и температуры во время полета
- Получение и интерпретация данных с 3-х осевого акселерометра и магнитометра
- Прием телеметрии на собственной наземной станции
- Обеспечение работы бортового оборудования не менее 3-х часов
- Обеспечение скорости спуска в пределах 5-10 м/с
- Бесконтактная фиксация момента отделения от РН



# Исследовательская задача

Общая исследовательская задача – разработка системы управления камерой для ее наведения в процессе полета на произвольную статичную точку на земле (точку старта). Для ее осуществления производится построение ориентации аппарата и раскрываются тканевые стабилизаторы.

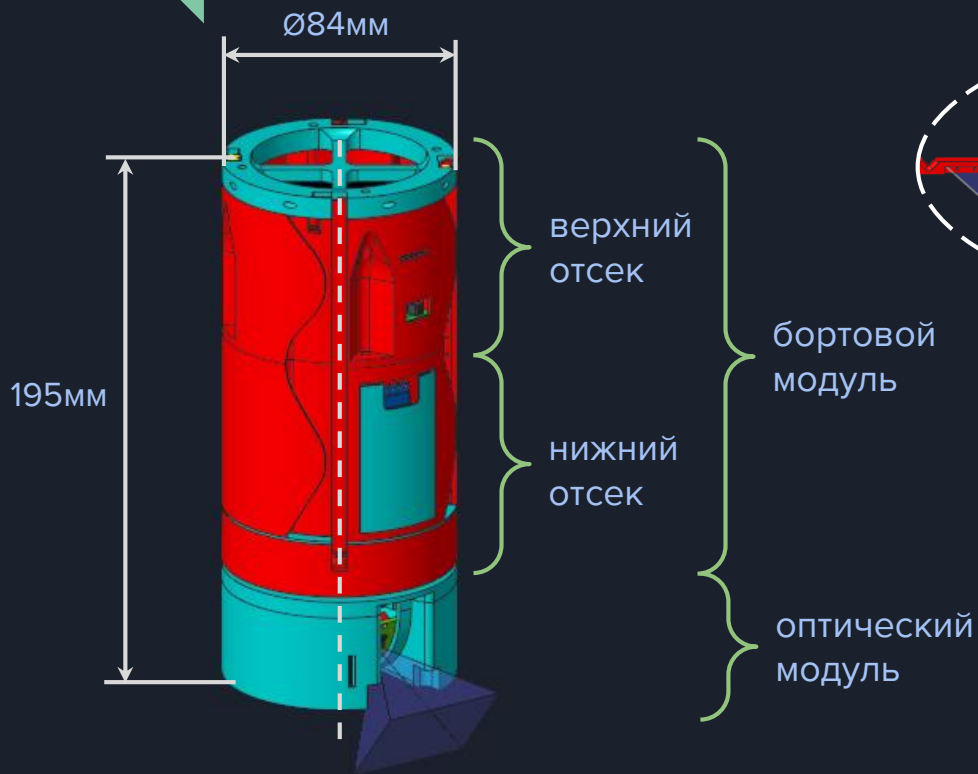




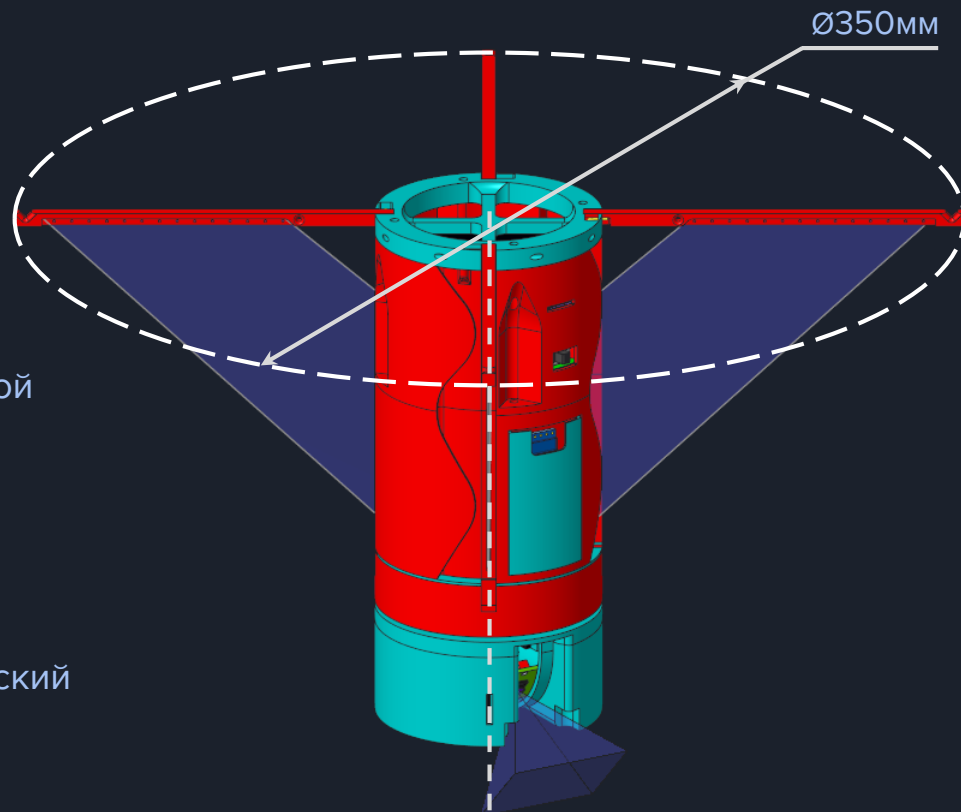
## Дополнительные задачи проекта

- Наведение камеры на точку старта
- Построение ориентации аппарата в пространстве
- Стабилизация аппарата во время полета
- Связь двух бортовых вычислителей по Bluetooth
- Видеозапись полета
- Сбор данных GPS о положении аппарата в пространстве
- Построение траектории полета аппарата по координатам GPS
- Световая индикация состояния аппарата
- Подача звукового сигнала для облегчения поиска аппарата
- Использование радиомаяка для облегчения поиска аппарата
- Анализ телеметрии аппарата на приемном пункте в режиме реального времени
- Сохранение телеметрии на SD карту

## Облик аппарата

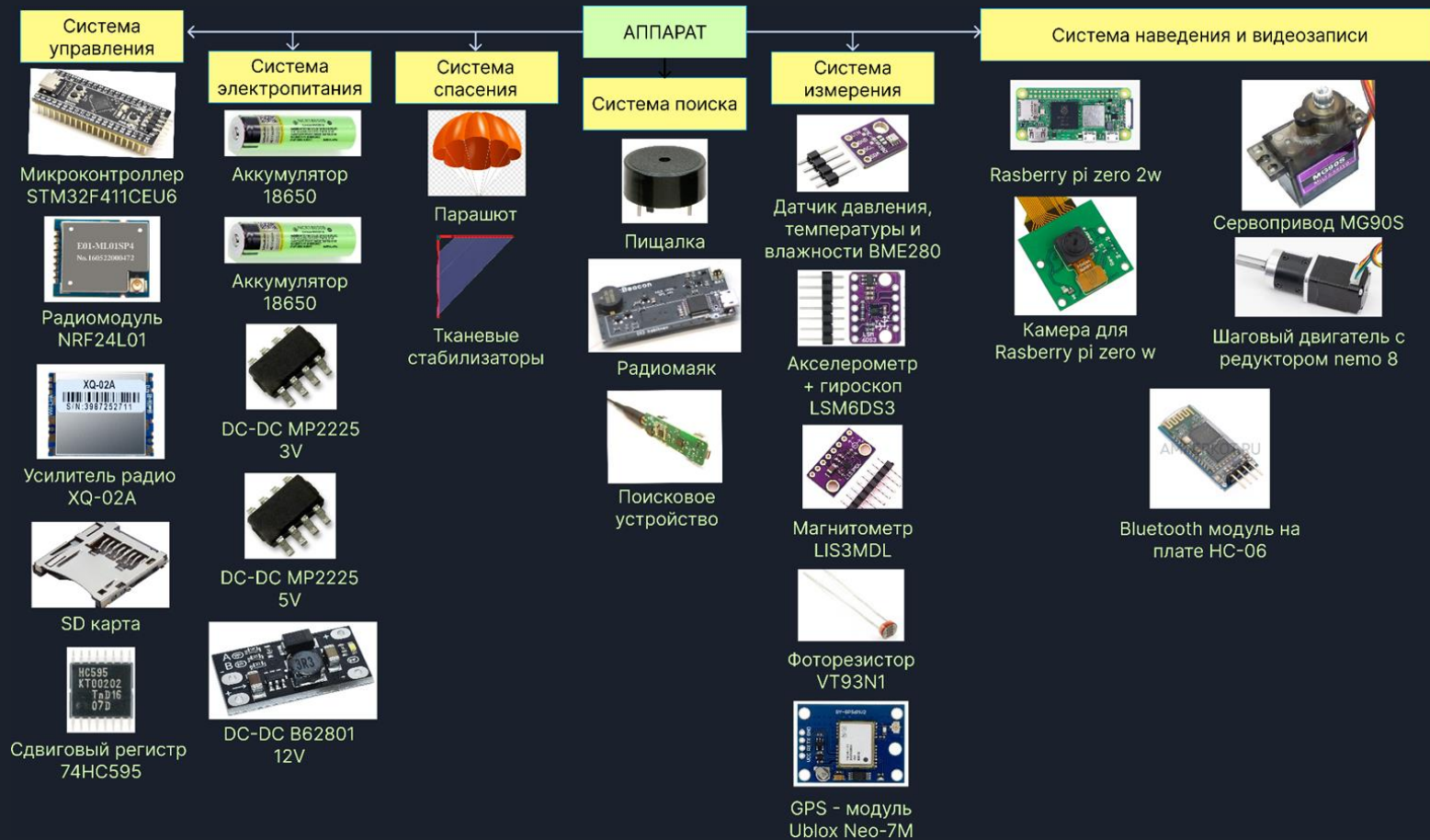


Транспортировочное положение

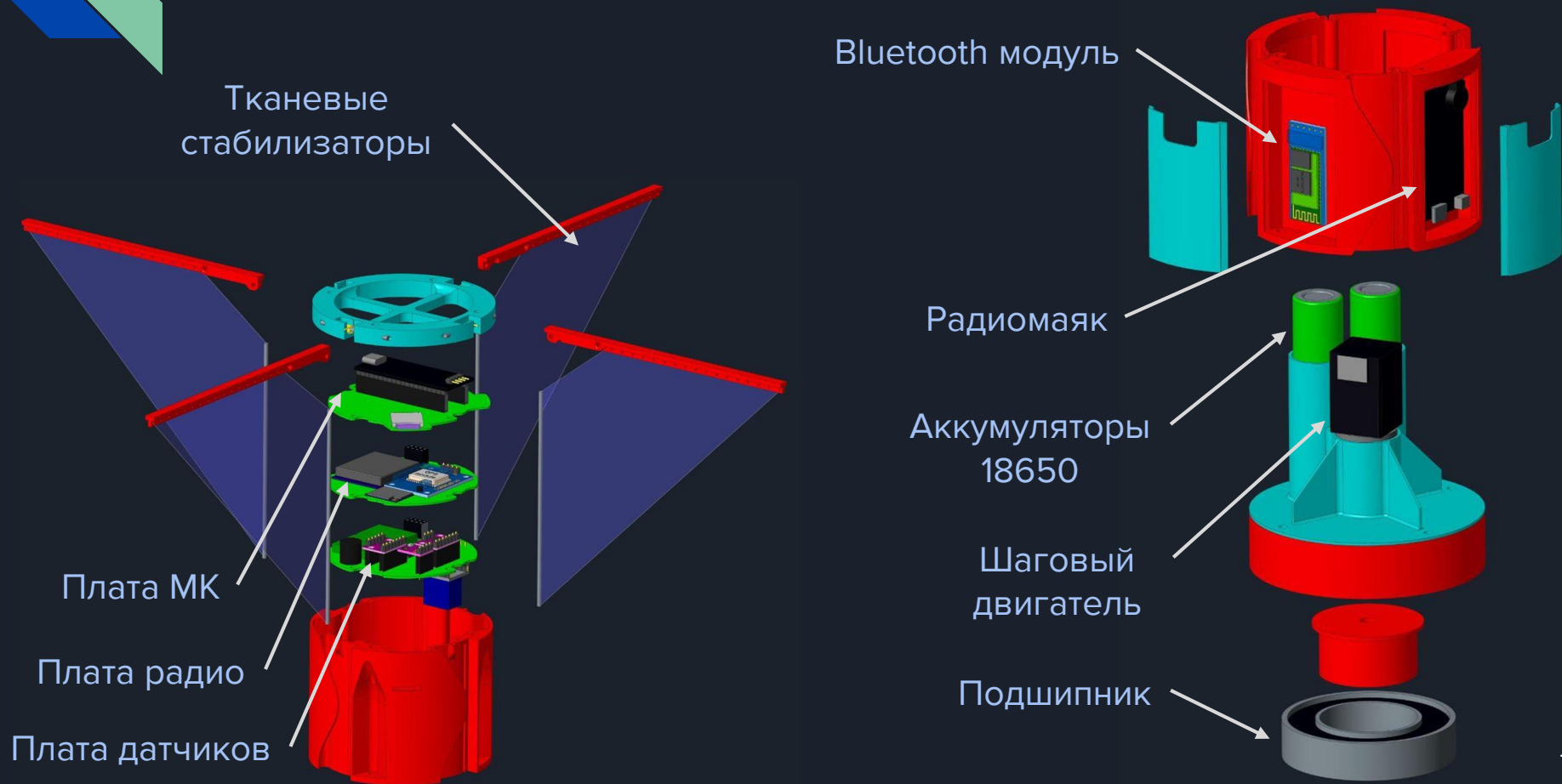


Рабочее положение

# Схема деления аппарата



# Компоновочная схема бортового модуля



# Оптический модуль

Бортовой модуль



Микроконтроллер  
STM32F411CEU6

UART



Драйвер ШД  
2209



Bluetooth модуль  
HC-06



Шаговый двигатель  
Nemo 8



Bluetooth

Оптический модуль

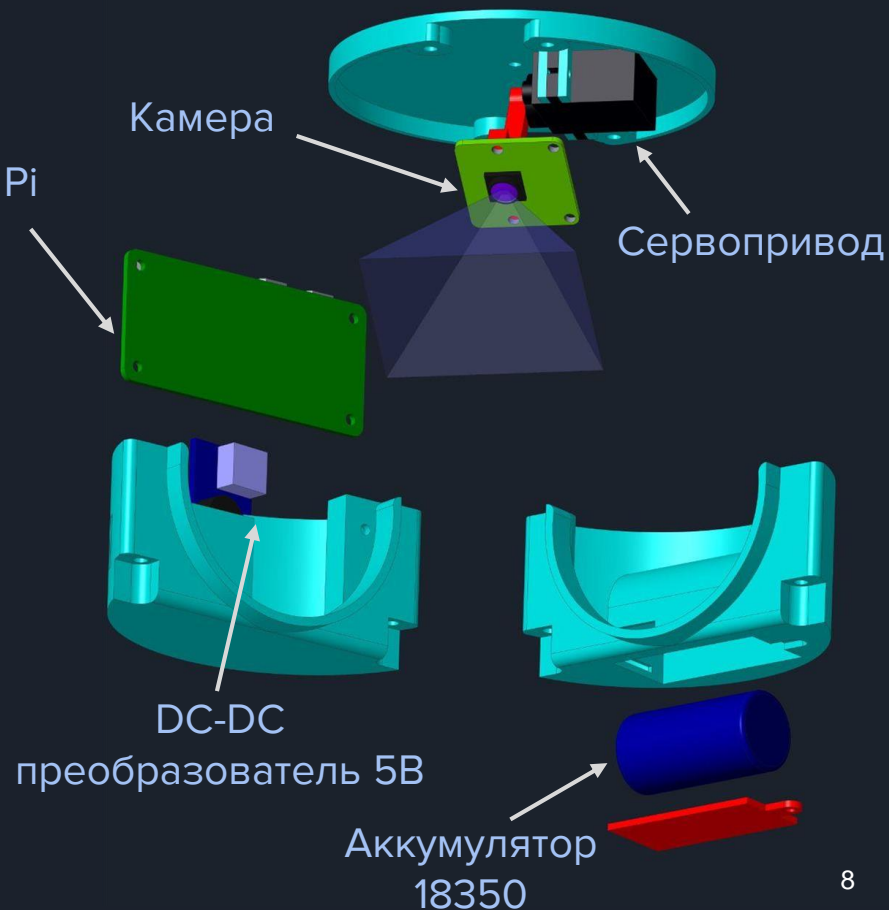


Raspberry Pi Zero 2W

PWM

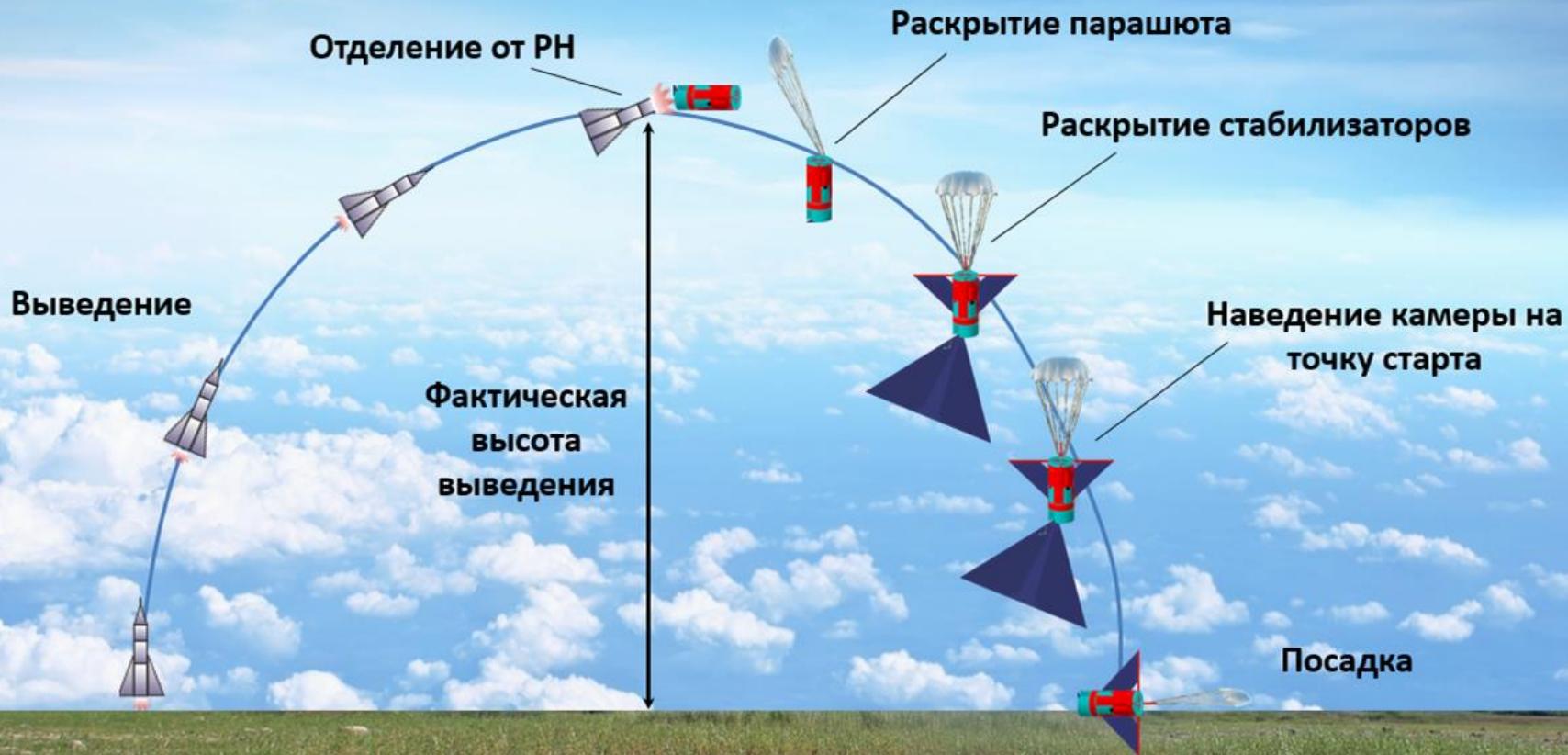


Сервопривод  
MG90S

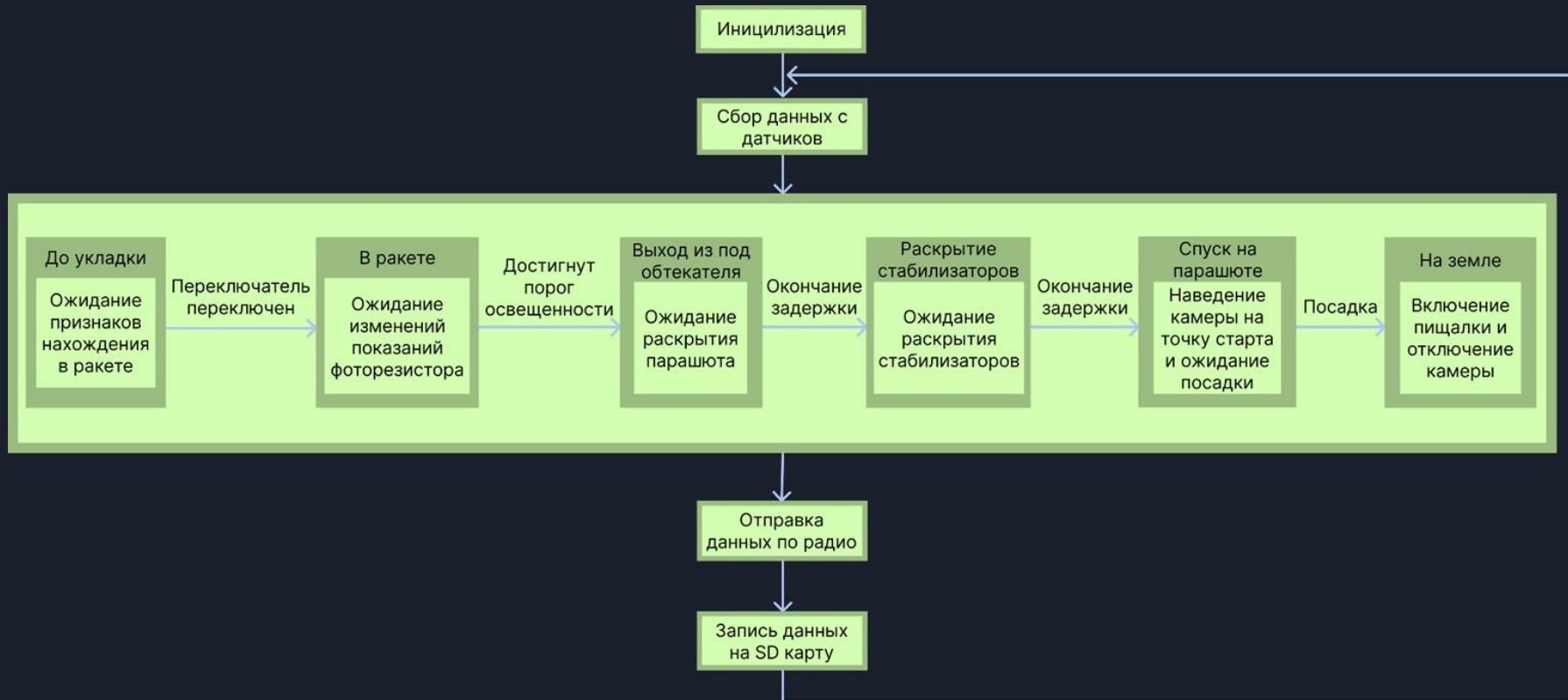




# Программа полета



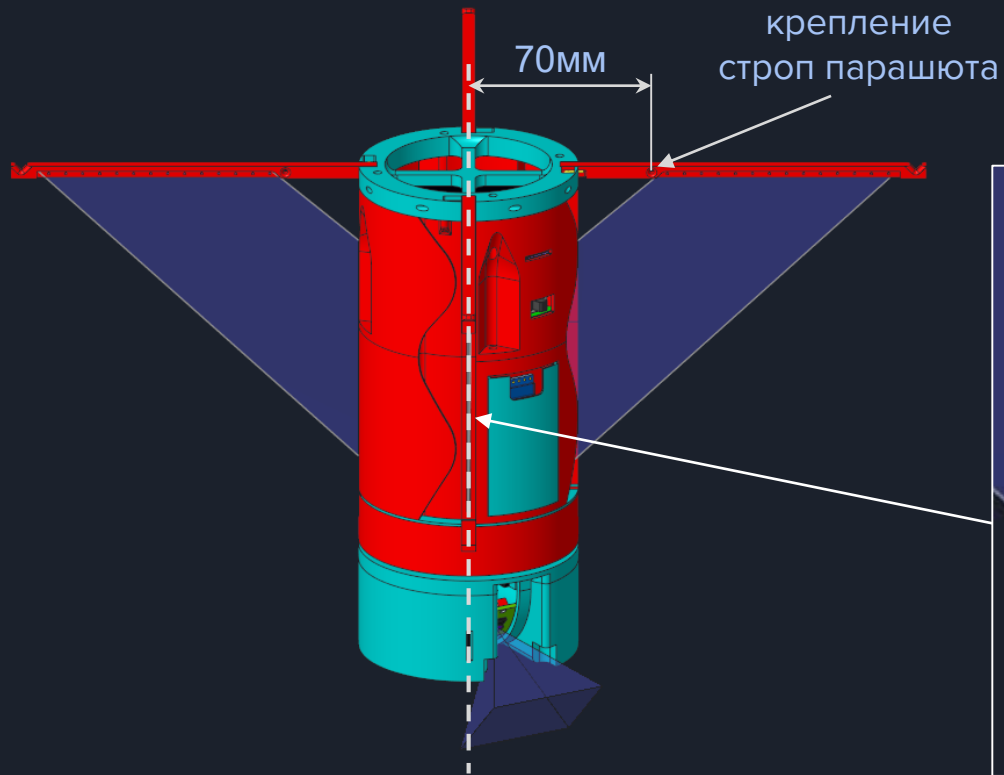
# Алгоритм работы аппарата



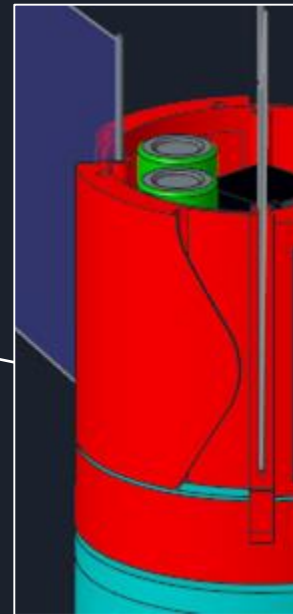
# Система спасения и стабилизации



Стабилизаторы закрыты

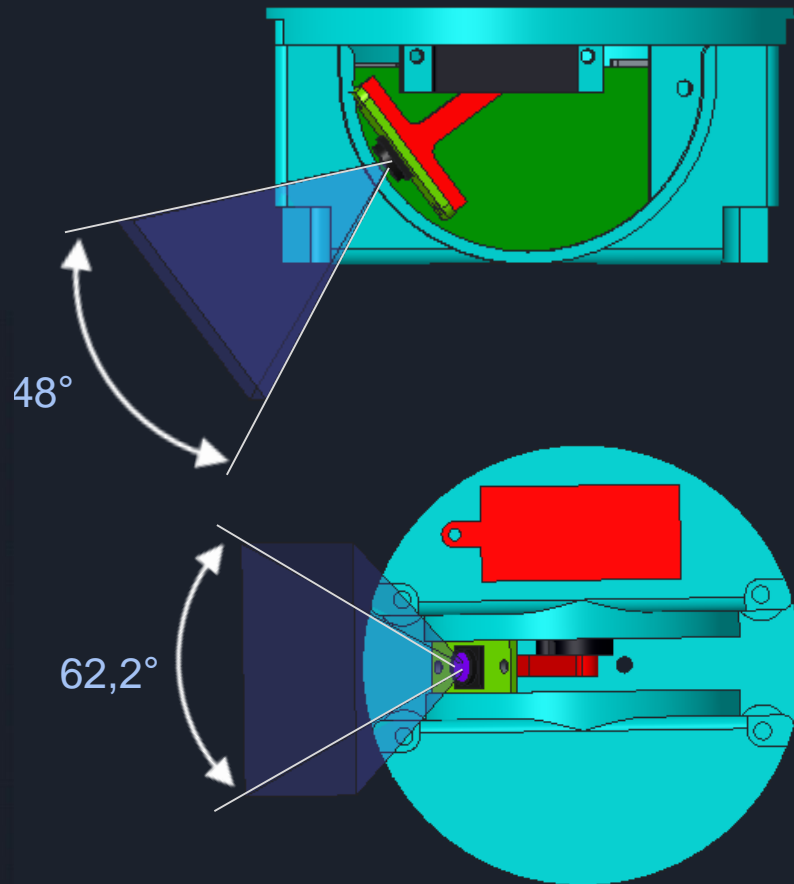
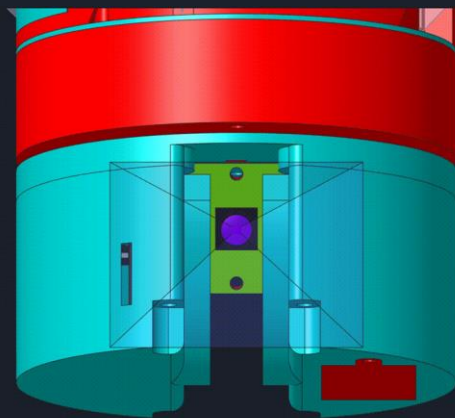


Стабилизаторы открыты



# Система наведения и видеозаписи

Разворот модуля свыше  $360^{\circ}$  (неограниченно)  
Угол поворота камеры от  $-73^{\circ}$  до  $+73^{\circ}$  ( $146^{\circ}$ )

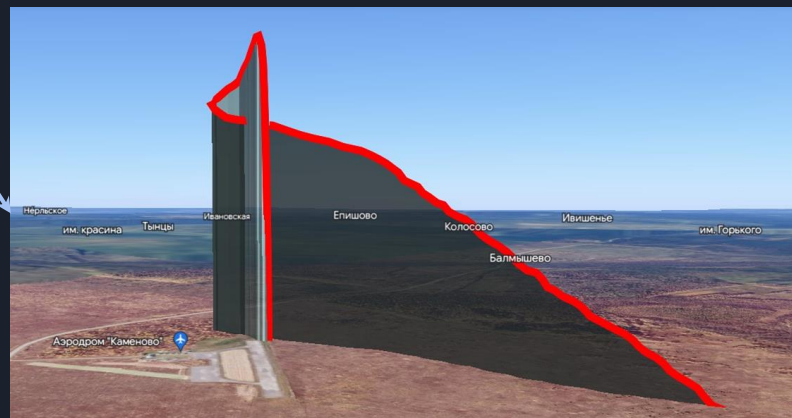


# Построение траектории полета аппарата



Время  
Широта  
Долгота  
Высота

Google Earth





# Положение аппарата

т. 0 (B<sub>0</sub>; L<sub>0</sub>; H<sub>0</sub>) или  
(X<sub>0</sub><sup>W</sup>; Y<sub>0</sub><sup>W</sup>; Z<sub>0</sub><sup>W</sup>)

т. 1 (B<sub>1</sub>; L<sub>1</sub>; H<sub>1</sub>) или  
(X<sub>1</sub><sup>W</sup>; Y<sub>1</sub><sup>W</sup>; Z<sub>1</sub><sup>W</sup>)

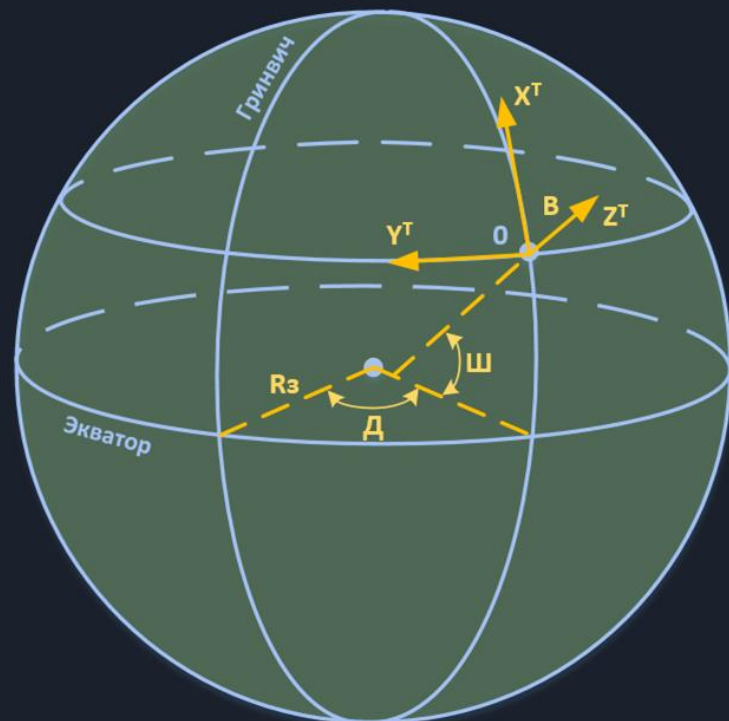
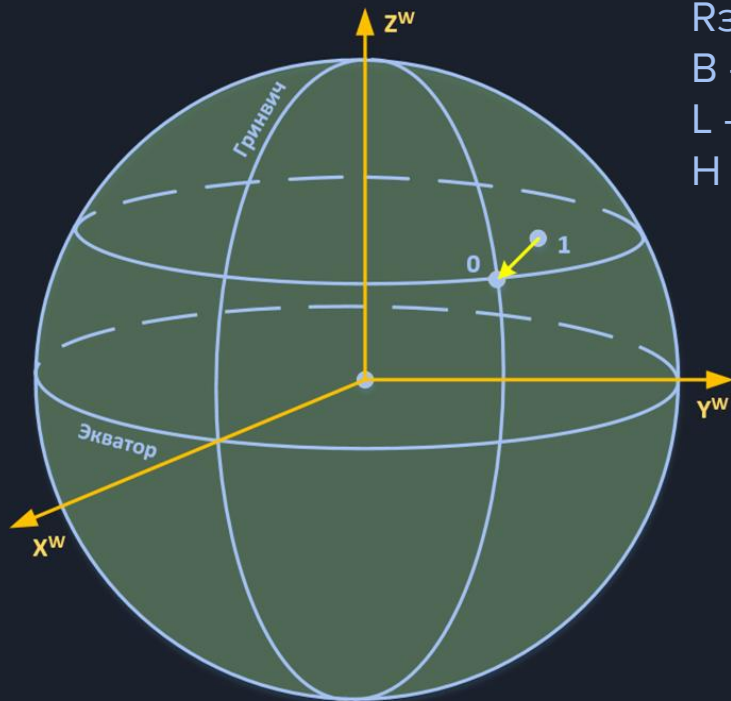
$$\begin{bmatrix} X^T \\ Y^T \\ Z^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \\ \cos B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^W - X_0^W \\ Y_1^W - Y_0^W \\ Z_1^W - Z_0^W \end{bmatrix}$$

R<sub>з</sub> - радиус Земли

B - широта

L - долгота

H - высота

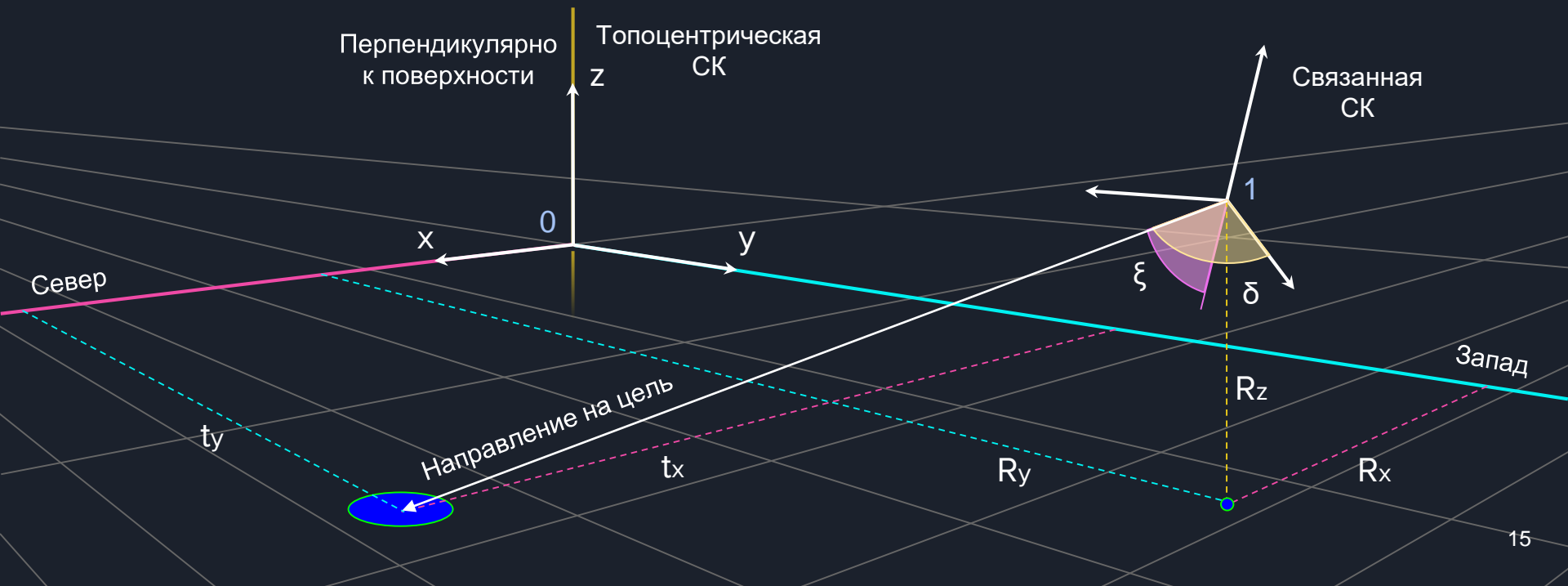


# Наведение камеры

$R_t = R_{Iq} \cdot I_t \cdot R_{Iq}^*$  - формула для перевода вектора из ТСК (I) в ССК (R)  
 $\bar{t}$  - вектор цели

$$\xi = \text{atan} \left( \frac{\sqrt{R_{tx}^2 + R_{ty}^2}}{R_{tz}} \right)$$

$$\delta = \text{atan} \left( \frac{R_{tx}}{R_{ty}} \right)$$



# Построение ориентации аппарата

$q = (q_1, q_2, q_3, q_4)$  - кватернион для перехода из системы А в В

$\varphi$  - угол поворота

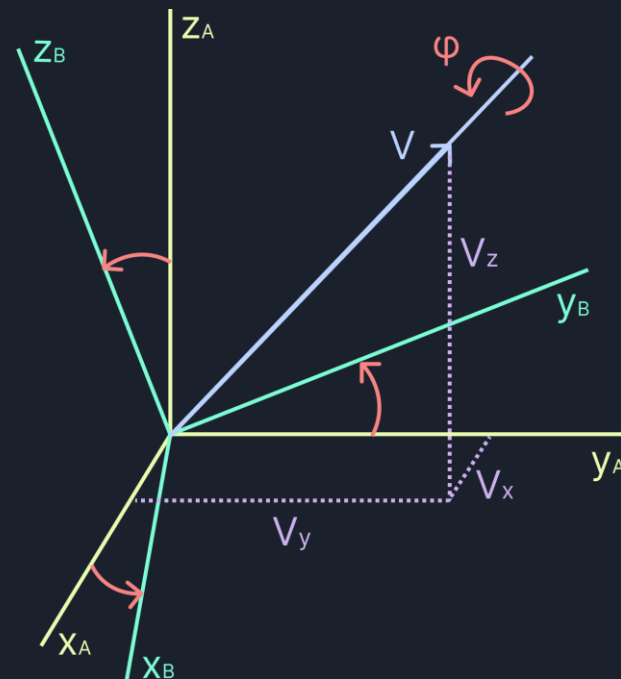
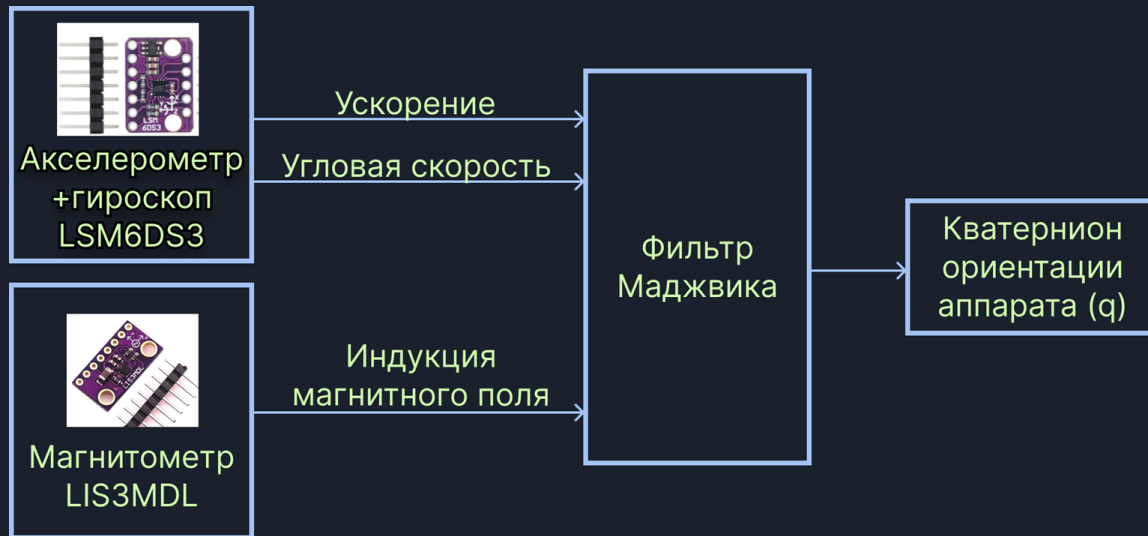
$V = (V_x, V_y, V_z)$  - направляющий вектор оси

$$q_1 = \cos (\varphi/2)$$

$$q_2 = V_x * \sin (\varphi/2)$$

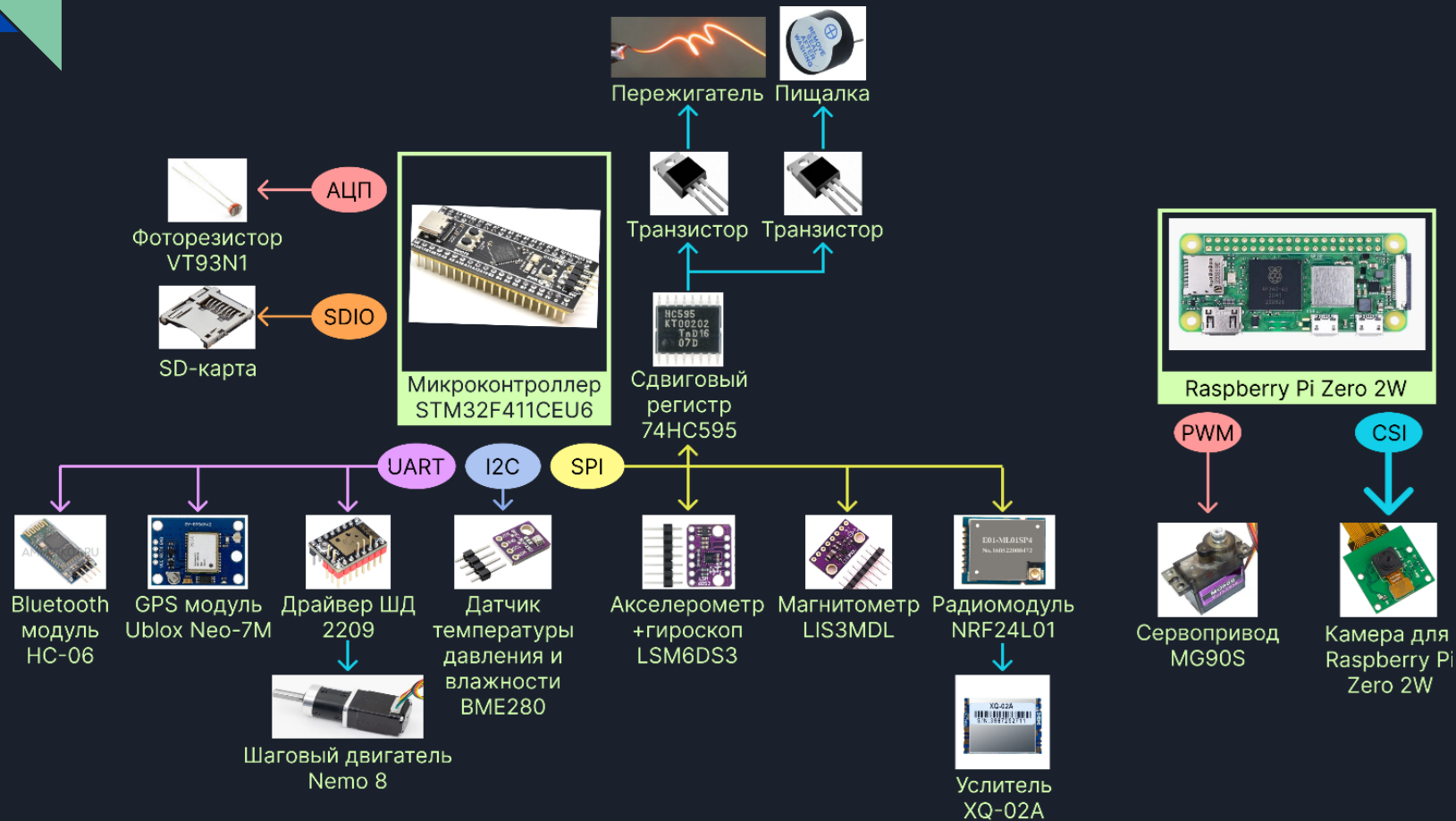
$$q_3 = V_y * \sin (\varphi/2)$$

$$q_4 = V_z * \sin (\varphi/2)$$

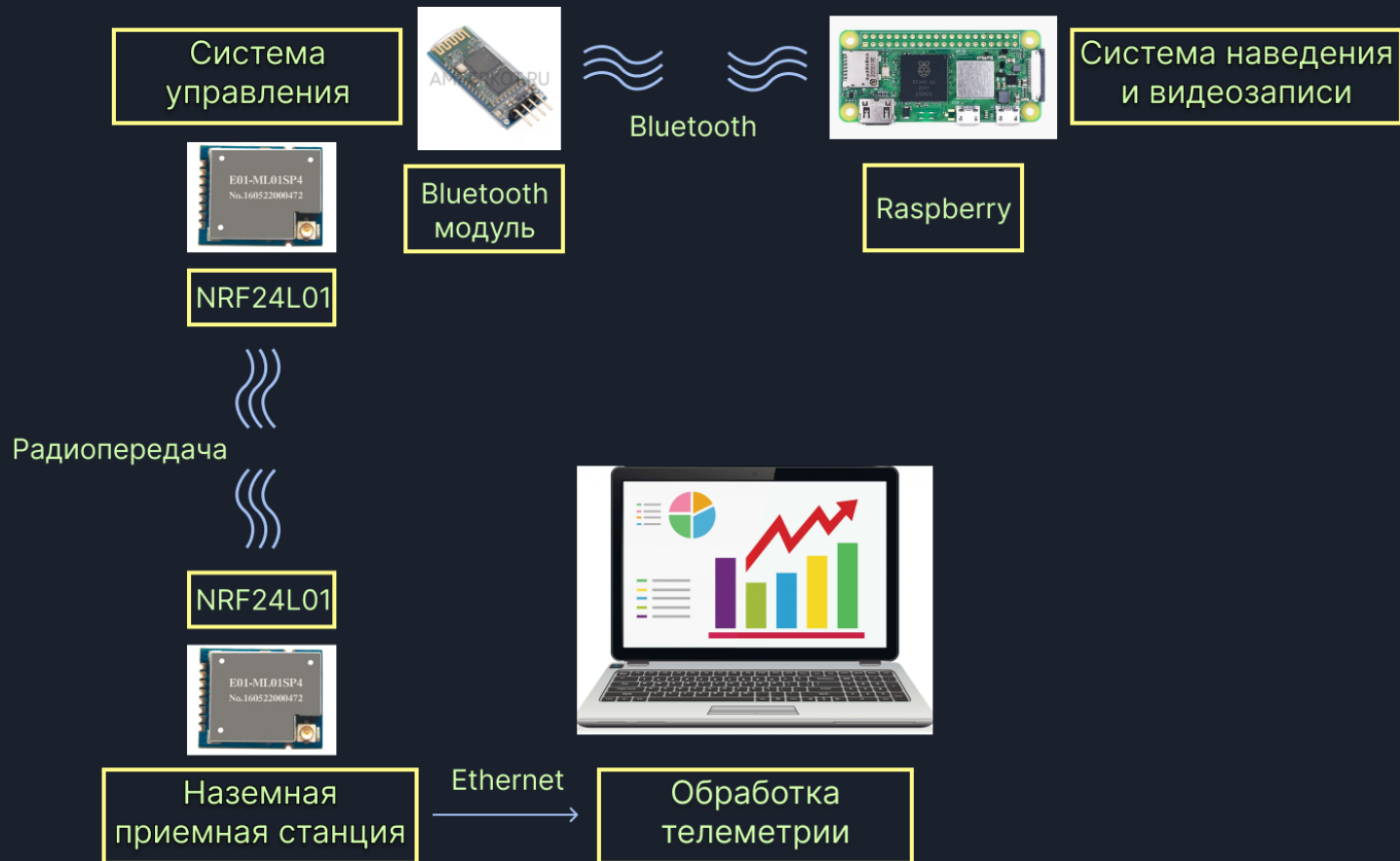




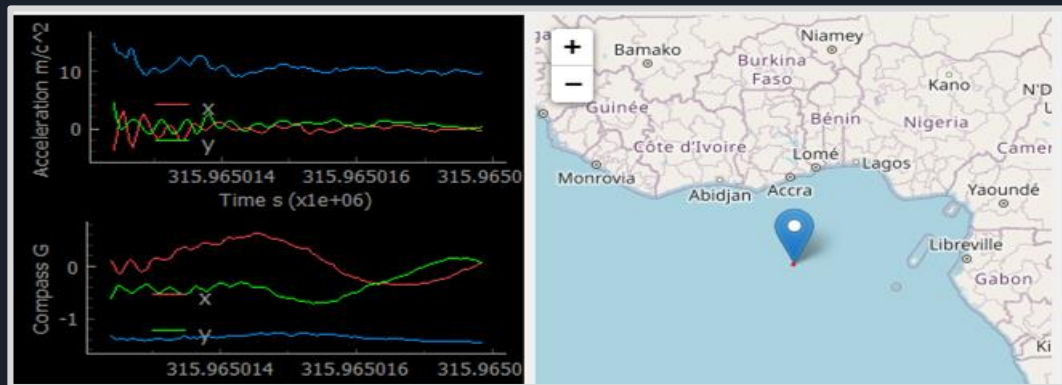
# Схема подключения электронных компонентов



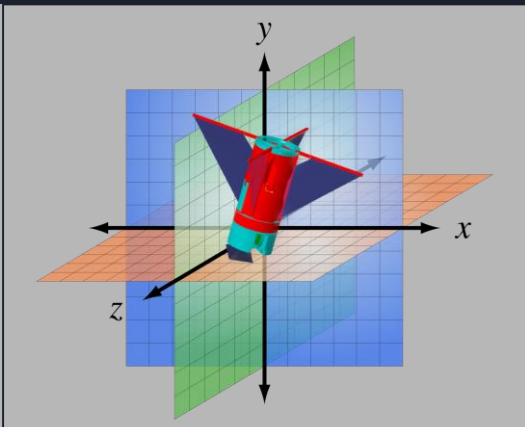
# Обмен данными



# Анализ телеметрии в режиме реального времени



State = 1	Temp = 26
AcclX = 1	Press = 100000
AcclY = 1	Height = 0
AcclZ = 1	Humidity = 40
GyroX = 1	Photores = 15
GyroY = 1	Time_s = 10
GyroZ = 1	Time_us = 10
MagX = 1	lat = 0
MagY = 1	lon = 0
MagZ = 1	alt = 0



- ❖ Графики:
  - Температура
  - Давление
  - Влажность
  - Ускорение по трем осям
  - Угловая скорость по трем осям
  - Индукция магнитного поля по трем осям
  - Освещенность
- ❖ Положение аппарата по координатам GPS
- ❖ Ориентация аппарата
- ❖ Данные телеметрии:
  - Состояние
  - Показания акселерометра
  - Показания гироскопа
  - Показания магнитометра
  - Показания датчика температуры, давления и влажности
  - Показания фоторезистора
  - Данные GPS

# Система поиска



GPS модуль  
Ublox Neo-7M

Координаты  
GPS



Радиомаяк  
tBeacon Onyx

Радиопередача

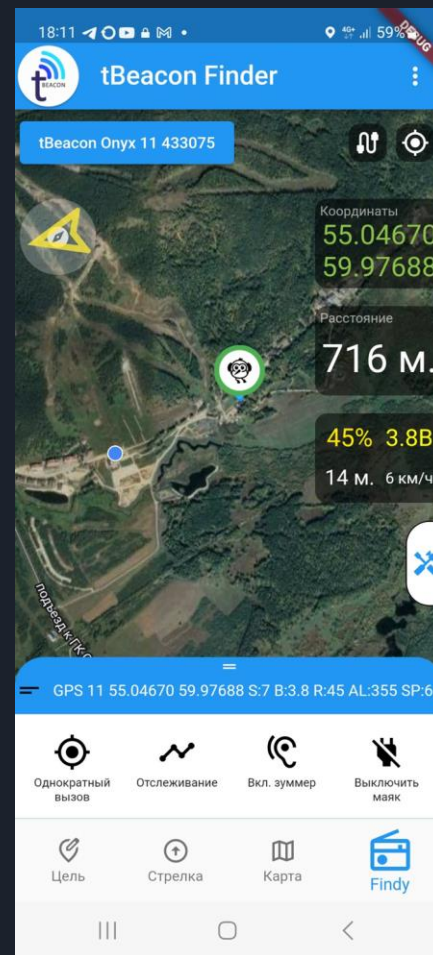
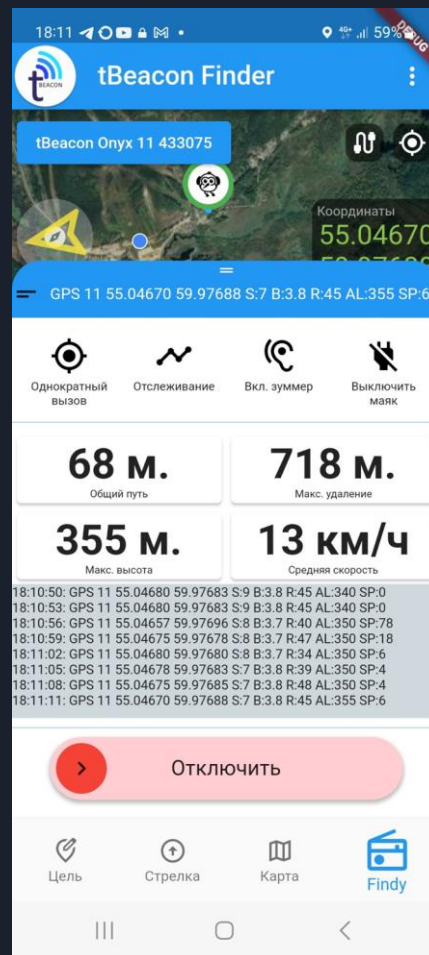


Пищалка

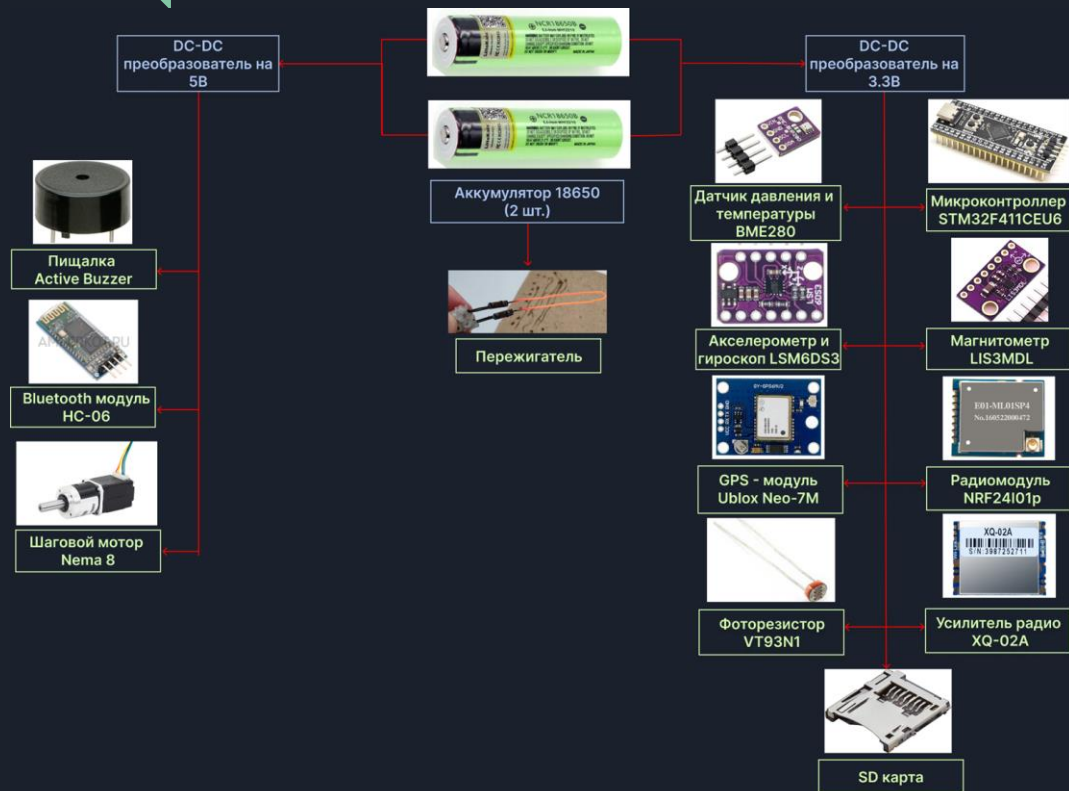
Звуковая  
сигнализация



Поисковое  
устройство  
tBeacon  
Findly Lite



# Схема распределения питания



Бортовой модуль



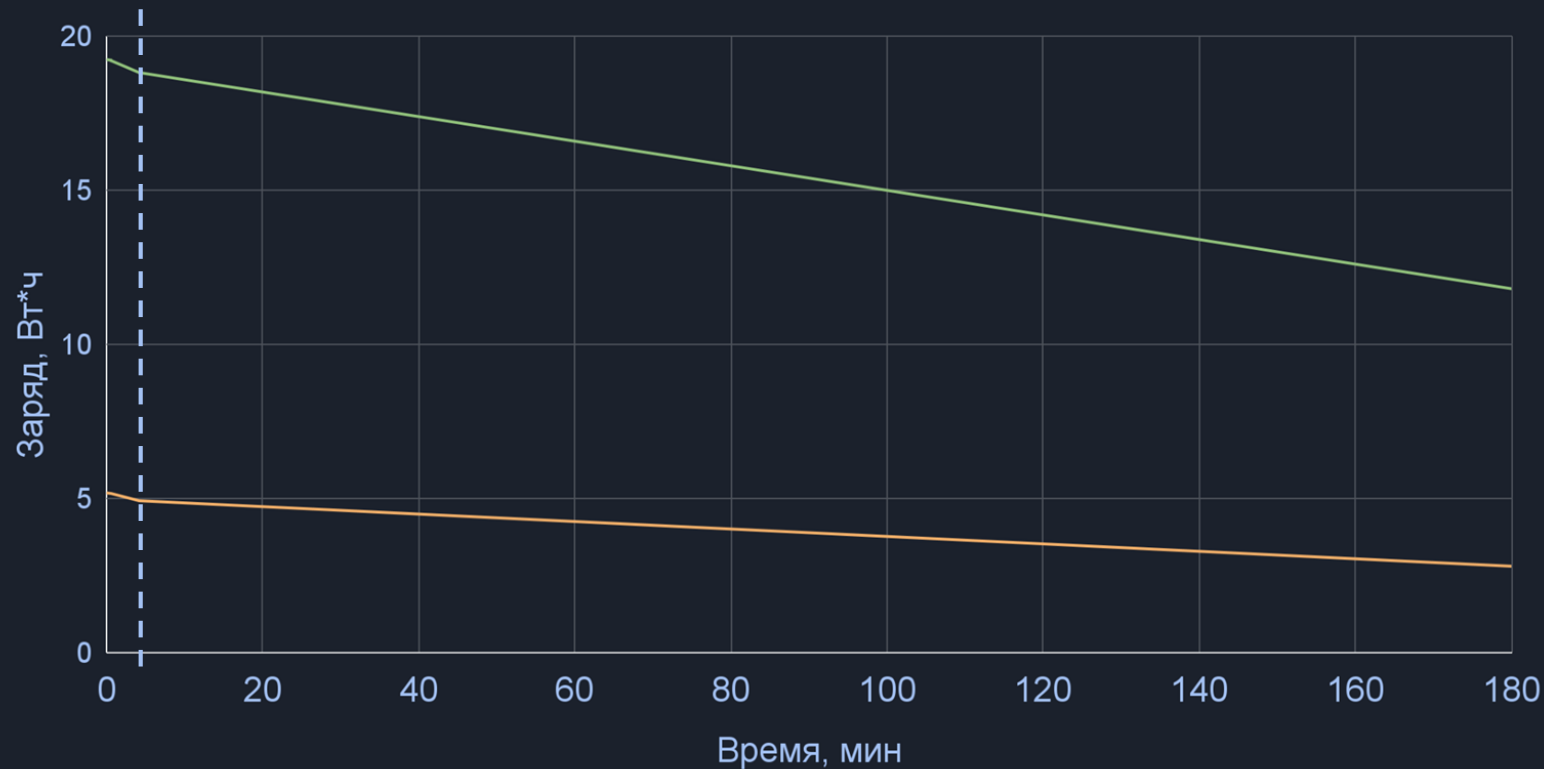
Оптический модуль

# Энергобаланс



Заряды АБ за 3 часа работы

— Заряд АБ бортового отсека — Заряд АБ оптического отсека



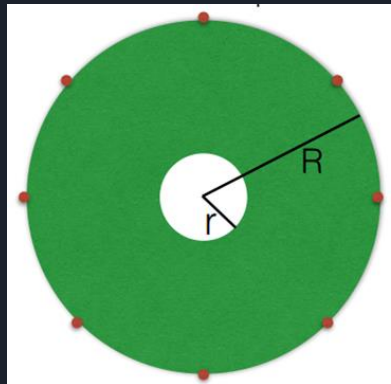


# Масса и стоимость аппарата

Наименование	Количество, шт.	Цена за 1 шт., руб.	Цена общая, руб.	Масса 1 шт., гр.	Масса общая, гр.
Микроконтроллер Black Pill	1,00	709,00	709,00	6,80	6,80
Модуль Bluetooth HC-06	1,00	480,00	480,00	20,00	20,00
Радиомодуль NRF24L01	1,00	327,00	327,00	1,40	1,40
Усилитель радио XQ-02A	1,00	1 265,00	1 265,00	5,00	5,00
SD Card	1,00	590,00	590,00	18,00	18,00
Сдвиговой регистр 74HC595	1,00	14,5	14,5	10,00	10,00
Raspberry Pi Zero 2W	1,00	1 996,00	1 996,00	9,00	9,00
Камера для Raspberry Pi Zero	1,00	629,00	629,00	3,00	3,00
Шаговый двигатель Nema 8	1,00	4 835,00	4 835,00	80,00	80,00
Сервопривод MG90S	1,00	158,00	158,00	13,4	13,40
GPS модуль Ublox-NEO-7M	1,00	508,00	508,00	40,00	40,00
Аккумулятор 18350	3,00	329,00	987,00	23,00	69,00
Понижающий DC-DC MP2225	2,00	26,30	52,60	2,00	4,00
DC-DC преобразователь MT3608	1,00	179,00	179,00	19,00	19,00
Радиомаяк tBeacon Onyx	1,00	4 800,00	4 800,00	10,00	10,00
Поисковое устройство tBeacon Findy	1,00	3 700,00	3 700,00	-	-
Датчик темп. и давл. BME280	1,00	192,00	192,00	10,00	10,00
Акселерометр+гироскоп LSM6DS3	1,00	118,00	118,00	10,00	10,00
Магнитометр LIS3MDL	1,00	1 353,00	1 353,00	10,00	10,00
Фоторезистор VT93N1	1,00	49,00	49,00	1,20	1,20
Пищалка Active Buzzer	1,00	12,10	12,10	2,00	2,00
Антенна для радиомодуля	1,00	107,00	107,00	2,40	2,40
Антенна GPS	1,00	315,00	315,00	10,00	10,00
Переключатель SS-12D11	1,00	131,00	131,00	1,50	1,50
Переключатель SK-12F14	1,00	55,00	55,00	0,80	0,80
Парашют	1,00	-	-	10,00	10,00
Плата печатная	3,00	1 660,00	4 980,00	20,00	60,00
Конструкция и кабельная сеть	1,00	-	-	0,00	260,56
<b>Итого</b>			<b>28 542,20</b>		<b>687,06</b>



# Расчет парашюта



$$r = R/15$$

$M$  – масса аппарата

$V$  – скорость спуска 5-10

$g$  – ускорение свободного падения

$\rho$  – плотность воздуха

$C$  – коэффициент аэродинамического сопротивления парашюта 1.2-1.3

$S$  – площадь парашюта

$D$  – диаметр купола парашюта

$$M = 687 \text{ гр}$$

$$V = 9 \text{ м/с}$$

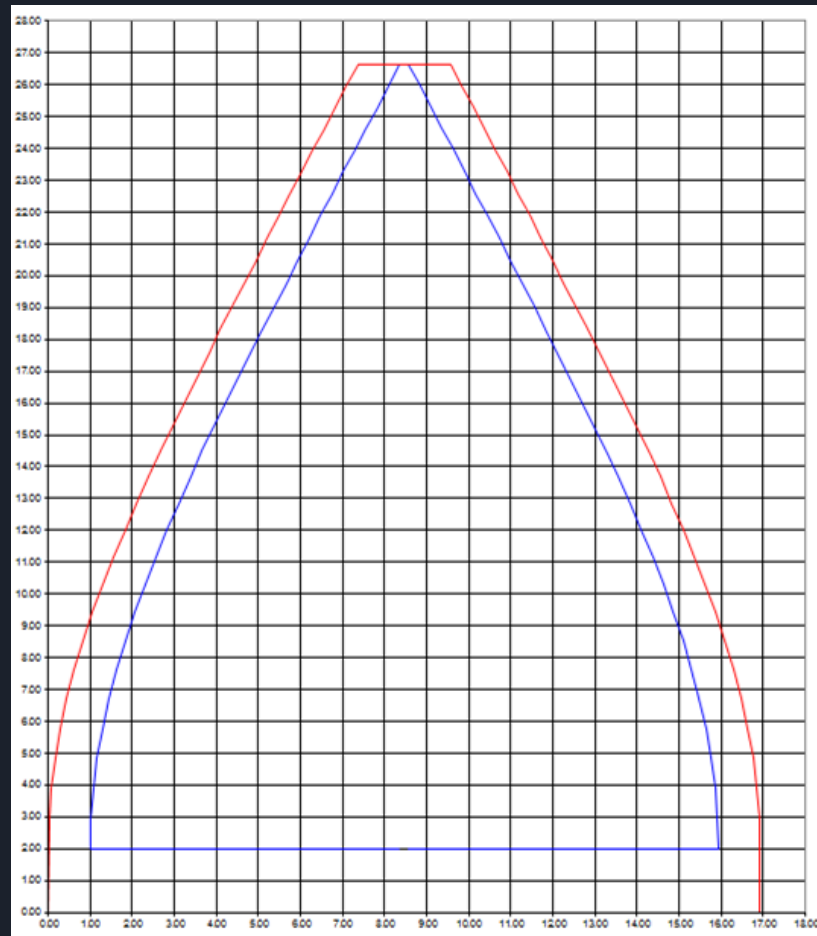
$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

$$\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$$

$$C = 1,2$$

$$S = 2Mg/C\rho V^2 = 0.1136 \text{ м}^2$$

$$D = 4S/\pi = 0.38029 \text{ м}$$



Сегмент парашюта

Команда “КНПН”

# Спасибо за внимание!

**Куратор**  
**Черкасова Марина**  
*9 год участия в ВИШ*



**Команда**  
**Екимиани Роман**  
*Электронщик, 2 год участия в ВИШ*  
**Клишин Илья**  
*Конструктор, 2 год участия в ВИШ*  
**Юбко Артемий**  
*Программист, 2 год участия в ВИШ*

# План-график работ

№	Сроки	Содержание работ
1	Октябрь	Определение дополнительных миссий аппарата, постановка задач
2	Ноябрь - Декабрь	Выбор способов решения поставленных задач, определение состава аппарата, разработка модели аппарата, подбор комплектующих
2	Декабрь	Прохождение онлайн-тестирования
3	Январь	Разработка модели аппарата, начало написания кода, подготовка к отборочной сессии
4	Февраль	Отборочная сессия, доработка ПО, доработка модели аппарата, разработка печатных плат
5	Март	Изготовление элементов конструкции аппарата, доработка ПО, испытания всех систем
6	Апрель	Разработка ПО для взаимодействия всех систем, сборка аппарата, пайка микросхем
7	Май	Сборка тестовой модели аппарата, проведение испытаний, проверка работы всех систем, заочный допуск
8	Июнь	Разбор телеметрии с испытаний, устранение недочетов, сборка финальной модели аппарата
9	Июль	Финал чемпионата

# Энергопотребление компонентов аппарата

Устройство	Потребление в рабочем режиме, А	Напряжение питания, В	Мощность, Вт
<b>Бортовой модуль</b>			
Микроконтроллер STM32F411CEU6	0,0214	3,3	0,0706
Усилитель XQ-02A	0,6061	3,3	2,0000
Радиомодуль NRF24I01p	0,0113	3,3	0,0373
Фоторезистор VT93N1	0,0054	3,3	0,0178
Датчик давления, температуры и влажности BME280	0,0001	3,3	0,0000
Радиомодуль NRF24I01p	0,1300	3,3	0,4290
MicroSD карта	0,0200	3,3	0,0660
Трехосевые акселерометр и гироскоп LSM6DS3	0,0009	3,3	0,0030
Трехосевой магнитометр LIS3MDL	0,0002	3,3	0,0007
GPS модуль Ublox-NEO-7M	0,0220	3,3	0,0726
Пищалка Active Buzzer	0,0250	5,0	0,1250
Шаговой двигатель	0,8000	5,0	4,0000
Bluetooth модуль HC-06	0,0400	5,0	0,2000
Нихромовая проволока	2,0000	8,0	16,0000
<b>Оптический модуль</b>			
Raspberry Pi Zero 2W (Bluetooth+съемка)	0,5000	5,0	2,5000
Raspberry Pi Zero 2W (без Bluetooth)	0,1250	5,0	0,6250
Raspberry Pi Zero 2W (без съемки)	0,3500	5,0	1,7500
Камера для Raspberry Pi Zero	0,1500	5,0	0,7500
MicroSD карта	0,0200	5,0	0,1000
Сервопривод SG90 (поворот)	1,0000	5,0	5,0000
Сервопривод SG90 (удержание)	0,2700	5,0	1,3500



## Энергопотребление компонентов аппарата

Потребление	Ток, А
Максимальное потребление бортового отсека	3,111
Максимальное потребление бортового отсека (3,3В)	0,817
Максимальное потребление бортового отсека (5В)	0,865
Максимальное потребление оптического отсека	2,257
Максимальное потребление бортового отсека (5В)	1,670

Токоотдача	Ток, А
Максимальная токоотдача аккумулятора бортового отсека	5,0
Максимальная токоотдача бортового отсека dc-dc (3,3В)	1,5
Максимальная токоотдача бортового отсека dc-dc (5В)	1,5
Максимальная токоотдача аккумулятора оптического отсека	3,0
Максимальная токоотдача оптического отсека dc-dc (5В)	2,0

# Параметры датчиков

Структура пакетов				
flag	time	n	Данные	crc
16	46	26	236 (max)	26
326				

Всего байт	83	Скорость
1 пакет	27	40 Гц
2 пакет	30	5 Гц
3 пакет	26	10 Гц
4 пакет	25	40 Гц

Датчик	Измерения	Диапазон измерений	Точность измерения	Шум	Частота измерения	Время между данными	Время старта	Разрешение датчика	Точность выбранная	Объем данных, байт	Объем на устройство
BME280	Температура	-40 - +85 град (0 - +65 град)	1 град (0,5 град)	0,004 град	157 Гц - 26,32 Гц	43,2+0,5 мс	2 мс	0,01 град	0,1 град	2	12
	Давление	30 000 - 110 000 Па	100 Па (1 м)	1,3 Па (11 см) - 0,2 Па (4 см)				0,16 Па	1 Па	4	
	Влажность	0% - 100%	3%	0,02%				0,008%	2		
	Высота		1м						4		
LSM6DSL	Акселерометр x	16 g	40 mg	3 mg	104,2 Гц	9,6 мс	35 мс	0,488 mg	0,001 g	2	12
	Акселерометр y								0,001 g	2	
	Акселерометр z								0,001 g	2	
	Гироскоп x	2000 град/с	3 град/с	75 мград/с				70 мград/с	0,001 град/с	2	
	Гироскоп y								0,001 град/с	2	
	Гироскоп z								0,001 град/с	2	
LIS3MDL	Магнитометр x	16 гаусс	1 гаусс	3,2 мгаусс	80 Гц	12,5 мс	-	1711 раусс	0,001 Гаусс	2	6
	Магнитометр y			3,2 мгаусс					0,001 Гаусс	2	
	Магнитометр z			4,1 мгаусс					0,001 Гаусс	2	
Ublox neo 7m	Широта	-	2,5 м	-	10 Гц	1 - 0,1 с	30 с (Cold Start)  1 с (Hot start)	-	0	4	21
	Долгота	-		-				-	0	4	
	Высота	0 - 50000 м		-				-	0,1 м	4	
	Скорость, узл	0 - 500 м/с	0,1 м/с	-				-	-	-	
	Время, с	-	30 нс	-				-	1 с	4	
	Время, мкс	-	-	-				-	0,000001 с	4	
	Fix	-	-	-				-	0	1	
Madgwick	q1	-	-	-	40Гц	0,025 с	-	-	-	4	16
	q2	-	-	-				-	-	4	
	q3	-	-	-				-	-	4	
	q4	-	-	-				-	-	4	
Состояние	Номер	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1
Фоторезистор	Сопротивление	12-300K	-	-	28,6 Гц	35мс	-	0,9	1 Люкс	4	4

# Расчет радиолинии

$$\Sigma l = -20 \log \left( 4\pi \frac{d}{\lambda} \right)$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$c$  – скорость света

$f$  – частота радио

$\lambda$  – длина волны

$d$  – максимальное расстояние между радиомодулями

$\Sigma L$  – суммарные потери в пространстве

$\Sigma P$  – суммарная мощность на входе в радиоприемник

$P_{\min}$  – чувствительность радиоприемника

$\Delta$  – запас мощности на входе в радиоприемник

$c = 299\,792\,458$  м/с

$f = 2.501$  ГГц

$\lambda = 0.1198690355857$  м

$d = 2\,500$  м

$\Sigma L = -108.368857299$  dBm

$\Sigma P = P_{\text{прд}} + G_{\text{ус}} - L_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} - \Sigma L + G_{\text{прм}} - L_{\text{прм}} + P_{\text{прм}} = -73.37$  dBm

$P_{\min} = -82$  dBm

$\Delta = P_{\min} + \Sigma P = -8.63$  dBm



Радиомодуль	Усилитель	Кабель	Антенна	Воздух	Антенна	Кабель	Радиомодуль
20	11	-2	0	-108,37	8	-2	20
дБм	дБ	дБ	дБи	дБ	дБи	дБ	дБм
$P_{\text{прд}}$	$G_{\text{ус}}$	$L_{\text{прд}}$	$G_{\text{прд}}$	$\Sigma L$	$G_{\text{прм}}$	$L_{\text{прм}}$	$P_{\text{прм}}$

# Возможные нештатные ситуации

№	Нештатная ситуация	Последствия	Выход из ситуации	Способы предотвращения
1	Потеря аппарата	Полное или частичное невыполнение миссий	нет	Проверять заряд аккумуляторов перед стартом
2	Нераскрытие парашюта	Потеря аппарата	нет	Правильный расчет парашюта, качественное изготовление и грамотная укладка парашюта
3	Отказ шагового двигателя	Частичное невыполнение миссий	нет	Грамотная сборка механики
4	Отказ сервопривода	Частичное невыполнение миссий	нет	Грамотная сборка механики
5	Отказ радиомодуля	Потеря телеметрии	Использование SD носителя для резервного копирования данных	Проверка радиомодуля на земле
6	Ошибка в определении момента отделения от ракеты	Частичное невыполнение миссий	нет	Отладка и испытания