

Проект
«Воздушно-инженерная школа
(CanSat в России)»

Команда GRANUM

Пояснительная записка к изделию 313-С:
суборбитальный усовершенствованный
исследовательский и многофункциональный
атмосферный зонд «»

Участники:

Волос П.С.

Елютин К.Э.

Журавлёва И.С.

Руководитель:

Прокопьев В.П.

Королёв 2017-18г.

Команда проекта	2
Задачи аппарата	3
Архитектура исследовательской системы	4
Целевая аппаратура зонда	5
Портативная автономная спектрометрическая установка “Око”	5
Система анализа окружающей среды “Окружность”	8
Система мягкой посадки и фиксации аппарата “Зацепка”.	8
Бортовой комплекс управления зонда	11
Бортовая цифровая вычислительная система (БЦВС)	11
Система спасения (ССП)	12
Алгоритм работы системы	13
Расчёт парашюта	13
Отсек системы спасения	14
Система управления бортовой аппаратурой (СУБА)	14
Бортовой радиотехнический комплекс (БРТК)	15
Система электроснабжения (СЭС)	16
Бортовая кабельная система	19
Конструкция	20
Наземная инфраструктура	23
Наземный измерительный пункт	23
Информационное взаимодействие компонентов системы	24
Экономические характеристики	26
План-график работ	28
Планируемое развитие проекта	29
Список используемых сокращений	30
Список используемой литературы	32

Команда проекта

1. Журавлёва Инга Сергеевна - технический директор проекта, ведущий специалист по электронике и схемотехнике, капитан команды.
2. Елютин Кирилл Эдуардович - главный инженер-программист.
3. Волос Полина Станиславовна - генеральный конструктор, главный сборщик.
4. Зубкова Юлия Викторовна - менеджер проекта, специалист по работе с кадрами.
5. Прокопьев Василий Павлович - куратор команды, консультант.
6. Кетов Вячеслав Александрович, Прошаков Прохор Алексеевич, Зубрицкий Дмитрий Сергеевич - консультанты.

Задачи аппарата

Общая исследовательская цель - отработка технологий для изучения поверхности землеподобных планет.

Решаемые задачи:

- получение спектра отражения поверхности в видимом и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах;
- получение фотографий поверхности в видимом спектральном диапазоне;
- обеспечение посадки и фиксации аппарата в определённой ориентации на поверхности для получения спектра фонового освещения и количественной оценке уровня освещённости на поверхности;
- осуществление записи фонового звука с поверхности планеты;
- измерение относительной влажности, температуры и давления в окружающей среде;
- измерение ускорений, угловых скоростей и напряжённости магнитных полей на протяжении всего полёта;
- передача телеметрии по радио каналу в S-диапазоне;
- создание наземной инфраструктуры для приема полезных данных, передаваемых аппаратом в S-диапазоне;
- передача телеметрии при помощи модема сотовой связи на сервер в сети Интернет;
- определение координат аппарата по GPS (для облегчения поисково-спасательных работ (ПСР));
- сохранение телеметрии на SD-карты.

Архитектура исследовательской системы

Исследовательская система состоит из двух сегментов: воздушного и полётного. Воздушный сегмент представлен в виде атмосферного зонда, который снабжен всем необходимым оборудованием для решения поставленных задач. Наземный сегмент представлен в виде наземной станции для непосредственного приёма телеметрии с атмосферного зонда и в виде сервера в сети Интернет, на котором происходит обработка и хранение данных.

Разрабатываемая система хорошо описывается в терминах бортового комплекса управления (БКУ) (рис 1.) [1].

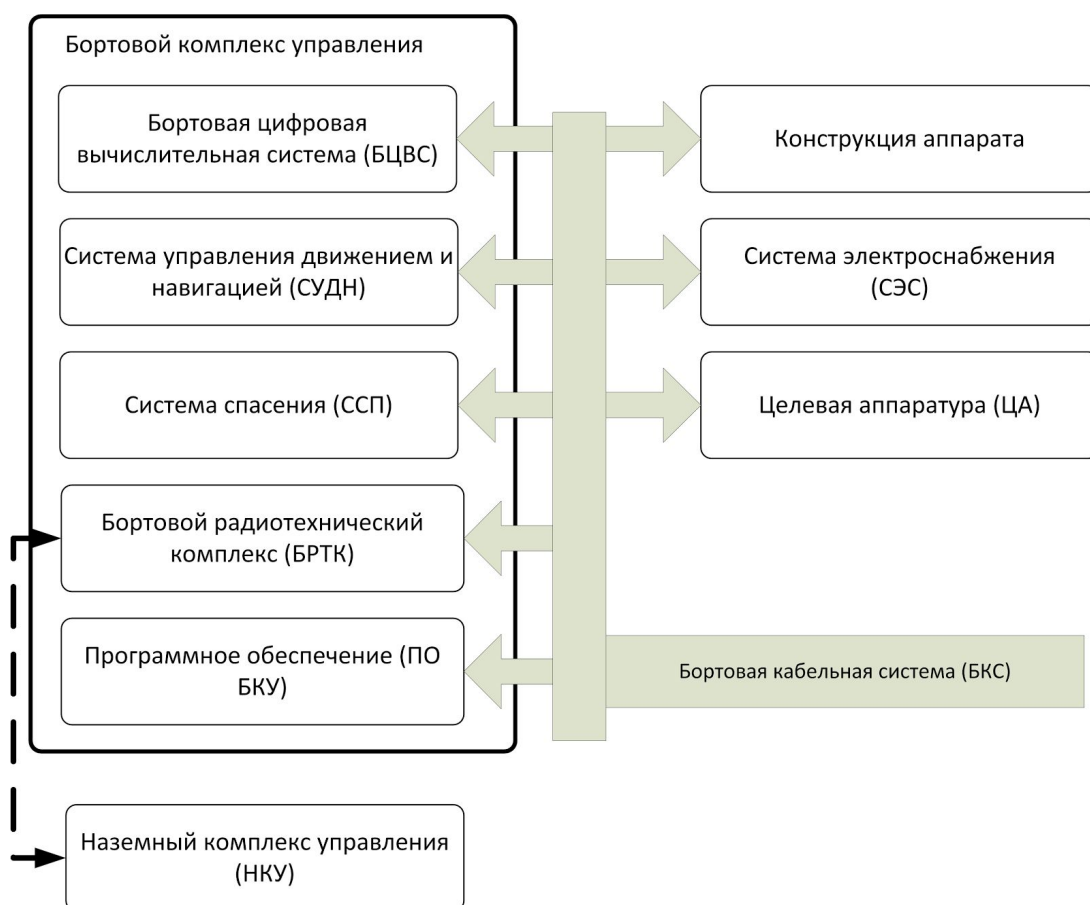


Рис 1. Структурная схема БКУ

Целевая аппаратура зонда

Полезная нагрузка зонда предназначена для решения поставленных исследовательских задач и представлена широким набором аппаратуры. Для удобства, вся целевая аппаратура разделена на несколько модулей.

Портативная автономная спектрометрическая установка “Око”. Данная система представляет собой компактный спектрометр, который позволяет проводить исследования

Система анализа окружающей среды - “Окружность”. Данная система состоит из набора датчиков для анализа окружающей среды.

Система мягкой посадки и фиксации аппарата “Зацепка”. Данная система обеспечивает мягкую посадку зонда в фиксированной ориентации, которая необходима для правильной работы установки “Око”.

Последующие разделы подробно рассматривают все модули.

Портативная автономная спектрометрическая установка “Око”

Для апробации методов спектроскопии был разработан прототип спектрометра (рис. 2,3), состоящий из корпуса (изготовлен на 3D-принтере), дифракционной решетки (в прототипе изготовлена из DVD диска), коллиматорной щели и камеры. За основу спектрометра была взята модель [2].

Также была разработана программа для анализа данных со спектрометра, которая позволяет строить графики интенсивности светового потока в зависимости от длины волны. На примере спектра лазера можно увидеть точность установки (Рис. 4).

Установка используется для определения спектра отражения поверхности планеты с целью выяснения наличия растительности и, в случае наличия, состояния данной растительности. Судить о наличии растений можно по характерным признакам в спектре отражения: большому отражению в окрестности зелёного (~530 нм) и малому в окрестностях синего (~450 нм) и красного (~670 нм), что возникает из-за свойств хлорофилла, а также резкому увеличению отражения в ближней инфракрасной части спектра (>700 нм), что возникает из-за внутренней структуры листа.

Для разложения светового луча используется дифракционная решетка изготовленная из DVD-R диска по методике, описанной в статье [3]. Полученный спектр снимается при помощи КМОП камеры gaspicas, изображение с которой анализируется при помощи бортового одноплатного компьютера raspberry pi zero.

Система анализа окружающей среды “Окружность”

Данная система состоит из набора датчиков и устройств, которые проводят простые исследования окружающей среды для выполнения различных задач программы полёта.

В эту систему входят следующие устройства:

Датчик температуры и относительной влажности: AM2320.

Используется по прямому назначению.

Датчик инерциальной навигационной системы (акселерометр + гироскоп) **MPU6000** (интегрированный) и электронный магнитометр **LSM303C**. При помощи данных датчиков на зонде реализуется примитивная бесплатформенная инерциальная навигационная система на базе фильтра, разработанного Себастьяном Маджвиком [4].

I2S микрофон SPH0645lm4h. Это устройство используется для записи звукового фона в районе посадки.

Пьезоэлектрическая “пищалка” HPA17A. Используется для облегчения поисково-спасательных работ.

Помимо вышеописанных устройств, к этой системе так же косвенно относятся все прочие датчики аппарата, так как они также формируют телеметрию и их показания могут быть использованы для проведения каких-либо исследований.

UART камера на чипе ls-y201-TTL. Используется для съёмки фотографий поверхности для облегчения интерпретации данных спектрометрического исследования.

Система мягкой посадки и фиксации аппарата “Зацепка”.

Данная система отвечает за решение задачи мягкой посадки и фиксации аппарата в вертикальной ориентации.

Это необходимо в первую очередь для корректной работы системы “Око”. Поскольку для определения спектра отражения должен быть получен спектр источника света, освещающего исследуемую поверхность, в крыше аппарата установлен дополнительный широкоугольный объектив спектрометра, который собирает свет со всей надгоризонтной области неба. Во время полета, данный объектив частично перекрыт парашютом, который отделяется в самом конце полета, непосредственно перед посадкой. Чтобы обеспечить системе “Око” возможность снять спектр неба без помехи в виде парашюта, система зацепка отвечает за мягкую посадку аппарата и его фиксацию в вертикальной (или близкой к ней) ориентации.

Система “Зацепка” состоит из трех металлических стержней, расположенных на шарнирах на корпусе аппарата на специальном усиленном поясе в нижней его части. При погрузке аппарата, стержни повернуты вверх, вдоль главной оси симметрии корпуса аппарата, не выступают за его габарит и удерживаются в этом положении нитью. После введения в работу парашюта системы спасения аппарата, нить, удерживающая стержни, пережигается и при помощи резинок стержни проворачиваются в своих шарнирах и становятся в противоположную ориентацию, выступая за нижнюю часть аппарата.

После отделения парашюта (см. подробнее раздел о системе спасения), аппарат приземляется на стержни, вонзая их в грунт. За счёт превращения кинетической энергии движения аппарата в энергию деформации грунта достигается мягкая посадка аппарата. За счёт силы трения, удерживающей стержни в грунте, достигается фиксация аппарата в той ориентации, в которой произошло его приземление.

Общий вид системы приведен на рисунках 6, 7 и 8.

журналирования всех данных, прошедших через контроллер за всё время полёта. По этим журналам будет возможно восстановление событий, произошедших во время полёта при послеполётном анализе.

Также каждый вычислитель имеет собственный канал связи с наземной инфраструктурой (у МК общего назначения - радиоканал, организованный при помощи радиомодулей NRF2401+PA+LNA, у одноплатного компьютера - подключение к сети Интернет при помощи модема сотовой связи) для обеспечения резервирования и гарантированной доставки информации на всех этапах полёта. Все данные (кроме фотографий спектров, они отправляются только через сотовую связь) дублируются на оба канала связи.

Система спасения (ССП)

Главным элементом системы спасения является парашют. Прочие элементы системы спасения предназначены для управления парашютом согласно регламенту конкурса.

В состав системы спасения входят (рис.10):

- парашют и средства его введения в работу;
- датчики освещённости TSL2561, для фиксации момента отделения от ракеты-носителя;
- барометрический альтиметр BMP280 и приёмник ГНСС uBlox neo-7 для определения точки ввода парашюта в работу.

Все датчики и исполнительные органы системы спасения подключены к вычислителю реального времени (STM32F4), а BMP280 также смонтирован на плате полетного контроллера Omnibus.

Расчёт площади купола: $S = \frac{2mg}{pC_xV^2} \Rightarrow S = 0.17 \text{ м}^2$,

где $V = 11 \text{ м/с}$; $m = 1,1 \text{ кг}$; $C_x = 0.9$; $p = 1.2 \text{ кг/м}^3$

Расчёт диаметра купола: $D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \Rightarrow D = 0.47 \text{ м}$,

где $S = 0.17 \text{ м}^2$

Расчёт объема отсека для парашюта: $V = \pi r^2 h \Rightarrow V = 106,132 \text{ см}^3$

где $r = 3.25 \text{ см}$; $h = 3.2 \text{ см}$

Высота купола -- $H_1 = 16,6145 \text{ см}$

Высота строп -- $H_2 = D = 150 \text{ см}$

Диаметр внутреннего отверстия парашюта будет подобран экспериментально для обеспечения точного развития требующейся скорости аппарата.

Отсек системы спасения

Отсек системы спасения предназначен для транспортировки парашюта в аппарате. Отсек подробно рассмотрен в разделе 'Конструкция'.

Система управления бортовой аппаратурой (СУБА)

Система управления бортовой аппаратурой включает в себя устройства, позволяющие управлять электрическими или механическими процессами, происходящими в зонде при помощи слабых электрических сигналов вычислителей.

В состав системы входят следующие элементы (рис.11):

- пережигатель, вводящий в работу парашют на базе силового транзистора IRF540N
- пережигатель, вводящий в работу систему "Зацепка" на базе силового транзистора IRF540N;

Raspberry Pi zero W	Raspberry Pi zero W	1	5	120	10 800	6 480
microSD карта	microSDHC	2	3,3	100	10 800	7 128
GPS модуль	Ublox NEO-7M-000	1	5	1	10 800	54
Датчик расстояния (сонар)	GY-US42	1	5	2	10800	108
Полевой транзистор (как пережигатель)	IRF540N	3	7,4	5 000	1	108
ЦА - "Око"						
ИК камера для Raspberry Pi	(с нормальным объективом)	1	5,00	130	600	390
Сервомашинка	SM-S2309B	1	5	450	600	1350
ЦА - "Окружность"						
Датчик влажности	AM2320	1	5	1,5	10 800	81,00
Плата разработчика с магнитометром	GY-LSM303C	1	3,3	1	10 800	10
Пьезоэлемент	HPA17A	1	5	3	10800	162
Микрофон (чип)	SPH0645LM4H-B	1	3,3	10	10 800	22
UART камера		1	5	100	3600	1800
ИТОГО:						31295

Требования к энергоотдаче аккумулятора рассчитаны исходя из известных параметров потребления элементов зонда и времени их работы. Расчёт приведен в таблице 1.

Суммарные требования по объёму энергии (в течение 3 часов) – 31295 Дж

Применяемые нами аккумуляторы имеют напряжение 7.4 В, при таком напряжении для питания аппарата в течение 3 часов понадобится аккумулятор ёмкостью в 1175 мА*ч. Наш аккумулятор имеет ёмкость 1600 мА*ч, то есть подходит с запасом.

Массовый расчёт оборудования приведен в таблице 2.

Таблица 2. Расчёт массы оборудования аппарата

Наименование	Модель	Кол-во	Масса ед., г.	Суммарная масса, г.
Система электропитания				
Аккумулятор	Turnigy 1600mAh 2S 20C Losi Mini SCT Pack	1	92	92
Регулятор питания	AMS1117	1	4	4
Понижающий DC-DC	LM2596	2	11	22
Повышающий DC-DC	XL6009	1	10	10
Оптрон	KP249KH5B	2	1	2
Бортовой комплекс управления				
Полетный контроллер	Omnibus F4 pro V2	1	7	7
Радиомодуль	NRF24Lo1+PA+LNA (ipx)	1	5	5
3G Модем	HUAWEI E173U-2	1	15	15
Датчик освещённости	TSL2561	3	3	9
Raspberry Pi zero W	Raspberry Pi zero W	1	9	9
microSD карта	microSDHC	2	1	2
GPS модуль	Ublox NEO-7M-000	1	12	12
Полевой транзистор	IRF540N	3	2	6
GPS антенна	G165	1	5	5
GSM антенна	1dB	1	10	10
CRC9 пигтейл для GSM антенны	SMA - CRC9	1	1	1
Держатель SIM карты	ICA-501-006	1	2	2
2.4 ghz pcb антенна	<noname>	1	5	5
ЦА - "Око"				
ИК камера для Raspberry Pi	(с нормальным объективом)	1	8	8
Дверной глазок		1	12	12
Плоско-выпуклая линза	N-BK7, Ø9.0 мм, f = 12.0 мм	2	5	10
Сервомашинка	SM-S2309B	1	15	15
Дифракционная решетка	1000 штрихов/мм	1	1	1
Кюветка	PMMA, 4,5 мл, 100 шт. комплект	1	20	2
ЦА - "Окружность"				
Плата разработчика с магнитометром	GY-LSM303C	1	3	3
Пьезоэлемент	HPA17A	1	3	3
Датчик влажности	AM2320	1	3	3

Микрофон (чип)	SPH0645LM4H-B	1	1	1
UART камера		1	10	10
Конструкционные материалы				
Ключ-выключатель	NS112-2	1	15	15
Радиатор	Аллюминиевый 9х9х5	3	1	3
Разъёмы для аккумулятора	JST коннектор	1	1	1
<u>ИТОГО</u>				305

Данный расчёт показывает, что имеется достаточный запас массы для корпуса аппарата ($1000 - 297 = 703$ грамма)

Наземная инфраструктура

Для контроля полёта аппарата и сохранения полученных данных планируется разработка и реализация наземной инфраструктуры, состоящей из переносного пункта радиообмена, сервера в сети Интернет, где концентрируются все потоки обмена информацией с аппаратом и программой - рабочим местом оператора, позволяющей в реальном времени наблюдать состояние аппарата и полученные данные.

Наземный измерительный пункт

Для непосредственной связи с аппаратом при помощи его бортового радиомодуля S-диапазона создается наземный измерительный пункт, состоящий из следующих компонентов (рис.19):

- 2.4 ГГц, 17 Дб узконаправленная антенна BESTER BDM-2 MIMO;
- радиомодуль NRF24Lo1+PA+LNA;
- одноплатный компьютер Raspberry Pi model 1 b+;
- ноутбук - рабочее место оператора.

Экономические характеристики

В этом разделе приведен расчёт стоимости комплектующих аппарата, требуемый регламентом конкурса. Расчёт представлен в таблице 3.

Таблица 3. Стоимость компонентов аппарата

Наименование	Модель	Кол-во	Цена единицы(руб)	Стоимость(руб)
Система электропитания				
Аккумулятор	HuanQi Lilon (7.4V 1300mAh)	1,00	890,00	890
Регулятор питания	AMS1117	1,00	25,00	25
Понижающий DC-DC	LM2596	1,00	159,00	159
Повышающий DC-DC	XL6009	1,00	160,00	160
Полевой транзистор	IRF540N	3,00	32,00	96
Бортовой комплекс управления				
Контроллер	Omnibus F4 pro V2	1,00	1 750,00	1750
Радиомодуль	NRF24L01+PA+LNA	1,00	504,00	504
Модем	HUAWEI E173U-2	1,00	2 400,00	2400
Антенна наборная	NGFF MHF4	1,00	426,00	426
Датчик освещённости	Adafruit TSL2561 (PRODUCT ID: 439)	3,00	667,00	2001
Raspberry Pi zero W	Raspberry Pi zero W	1,00	1 200,00	1200
GPS модуль	Ublox NEO-7M-000	1,00	960,00	960
GPS антенна	Маненькая	1,00	92,00	92
GSM антенна	3db	1,00	399,00	399
microSD карта	microSDHC	1,00	340,00	340
ЦА - "Око"				
Линзы	плосковыпуклая	2,00	2 133,00	4266
Дифракционная решетка	1000 штрихов/мм	2,00	240,00	480
Сервомашинка	SM-S2309B	1,00	195,00	195
Дверной глазок		1,00	100,00	100
ИК камера для Raspberry Pi	(с нормальным объективом)	1,00	2 565,00	2565
ЦА - "Окружность"				
Датчик влажности и температуры	AM2320	1,00	190,00	190
Пьезоэлемент	HPA17A	1,00	90,00	90
Микрофон (плата)	SPH0645LM4H-B	1,00	668,00	668
Плата разработчика с	GY-LSM303C	1,00	290,00	290

магнитометром				
UART камера		1,00	1117,00	111
Конструкционные материалы				
Ключ-выключатель	NS112-2	1,00	110,00	110
Кювета для спектроскопии		1,00	17,00	17
Расходные материалы				
Разъёмы для аккумулятора	JST коннектор	1,00	60,00	60,00
ИТОГО				21550

План-график работ

Неделя	Полина	Кирилл	Инга
16.10 - 22.10	Продумывание задач дополнительной миссии и их реализацией		
23.10 - 29.10			
30.10 - 5.11			
6.11 - 12.11			
13.11 - 19.11			
20.11 - 26.11	Проведение экспериментов с прототипом спектрометра		
27.11 - 3.12			
4.12 - 10.12	Моделирование отдельных модулей аппарата		
11.12 - 17.12			
18.12 - 24.12			
25.12 - 31.12	Работа над составлением пояснительной записки и презентации		
1.01 - 7.01			
8.01 - 14.01			
15.01 - 21.01			
22.01 - 28.01			
5.02 - 11.02	Детальная проработка конструкции	Разработка бортового ПО	Разработка бортового ПО
12.02 - 18.02			
19.02 - 25.02			
26.02 - 4.03			
5.03 - 11.03			
12.03 - 18.03	Изготовление деталей конструкции	Разработка бортового ПО	Разработка и изготовление платы с микрофоном
19.03 - 25.03			
26.03 - 1.04			
2.04 - 8.04	Пошив и тестирование парашюта		
9.04 - 15.04			
16.04 - 22.04	Начальная сборка аппарата	Разработка наземного ПО	Интеграция и тестирование электроники аппарата
23.04 - 29.04		Интеграционное тестирование ПО и электроники	
30.04 - 6.05			
7.05 - 13.05	Окончательная сборка и тестирование аппарата		
14.05 - 20.05			
21.05 - 27.05			
28.05 - 3.06			
4.06 - 10.06			
11.06 - 17.06	Тестирование и устранение неполадок		
18.06 - 24.06			
25.06 - 1.07			

Список используемых сокращений

БКС - бортовая кабельная система

БКУ - бортовой комплекс управления

БПЛА - беспилотный летательный аппарат

БРТК - бортовой радиотехнический комплекс

БЦВС - бортовая цифровая вычислительная система

ГНСС(GNSS) - global navigation satellite systems (спутниковая система навигации)

ДУ - двигательная установка

ИК - инфракрасный

МК - микроконтроллер

НИП - наземный измерительный пункт

НКУ - наземный комплекс управления

ПО - программное обеспечение

ПСР - поисково-спасательные работы

РН - ракета-носитель

СБИ - система бортовых измерений

СОТР - система обеспечения теплового режима

СУДН - система управления движением и навигацией

СУБА - система управления бортовой аппаратурой

СЭС - система электроснабжения

ЦА - целевая аппаратура

ЦУП - центр управления полётами

DC-DC - direct current to direct current (преобразователь постоянного тока в постоянный ток)

DVD - digital video disk (цифровой видеодиск)

GPS - Global Positioning System (глобальная система позиционирования)

GSM - Global System for Mobile Communications (глобальная система мобильной связи)

PMMA - полиметилметакрилат

SD - secure digital

Список используемой литературы

1. Микрин, Е. А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов : учебное пособие /Е. А. Микрин. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 245, [1] с. : ил. ISBN 978-5-7038-3983-6
2. <https://publiclab.org/wiki/desktop-spectrometry-kit-3-o>
3. <https://publiclab.org/notes/MrBumper/01-11-2015/preparing-a-dvd-r-to-act-as-a-diffraction-grating>
4. <https://habrahabr.ru/post/255661/>
5. <https://mavlink.io/en/>