

Рис. 2. 3D-Модель спектрометра.

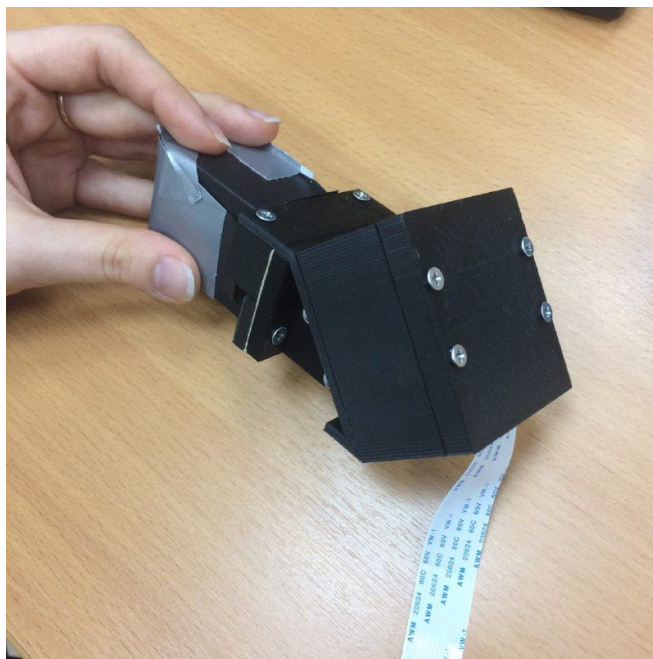


Рис. 3. Распечатанная модель.

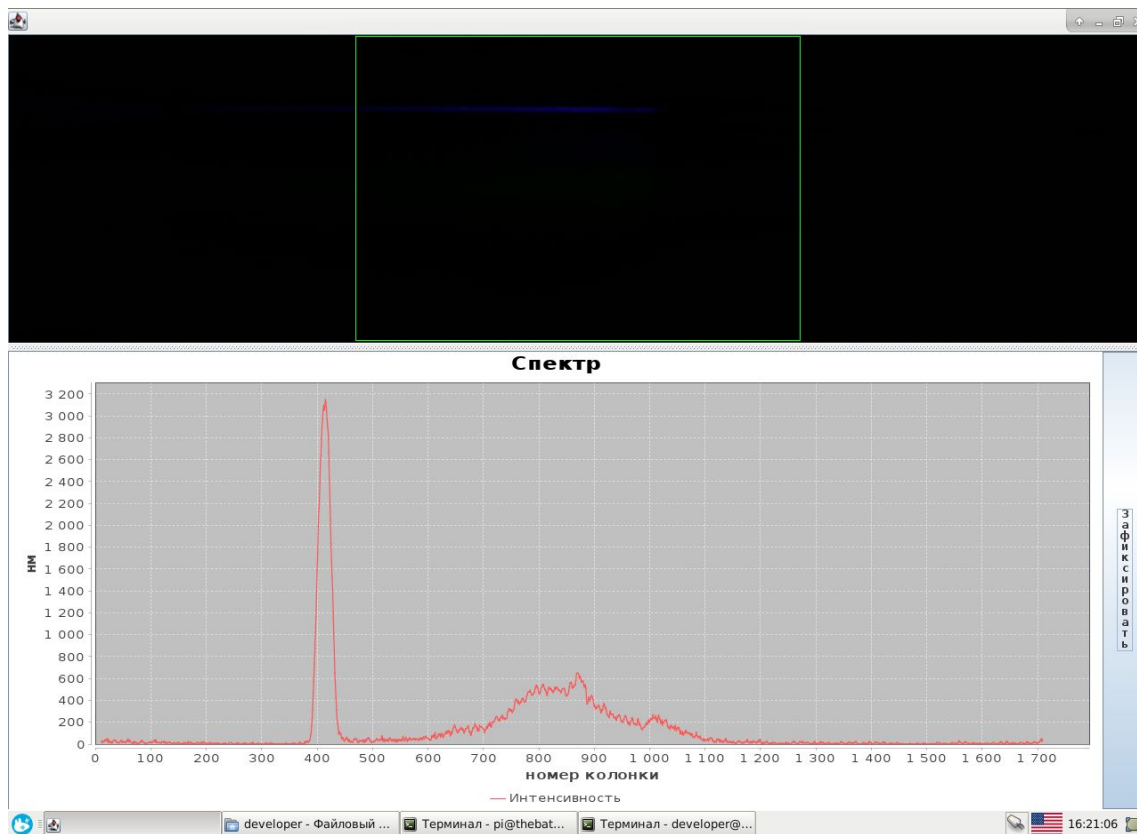


Рис.4. Спектр лазерной указки (повышение ~850 - эффект люминесценции гуминов)

На основе этого прототипа будет разработан бортовой спектрометр “Око”, который будет иметь более компактный и сложный объектив-коллиматор с использованием линз и компактную камеру с меньшим объективом (рис 5).

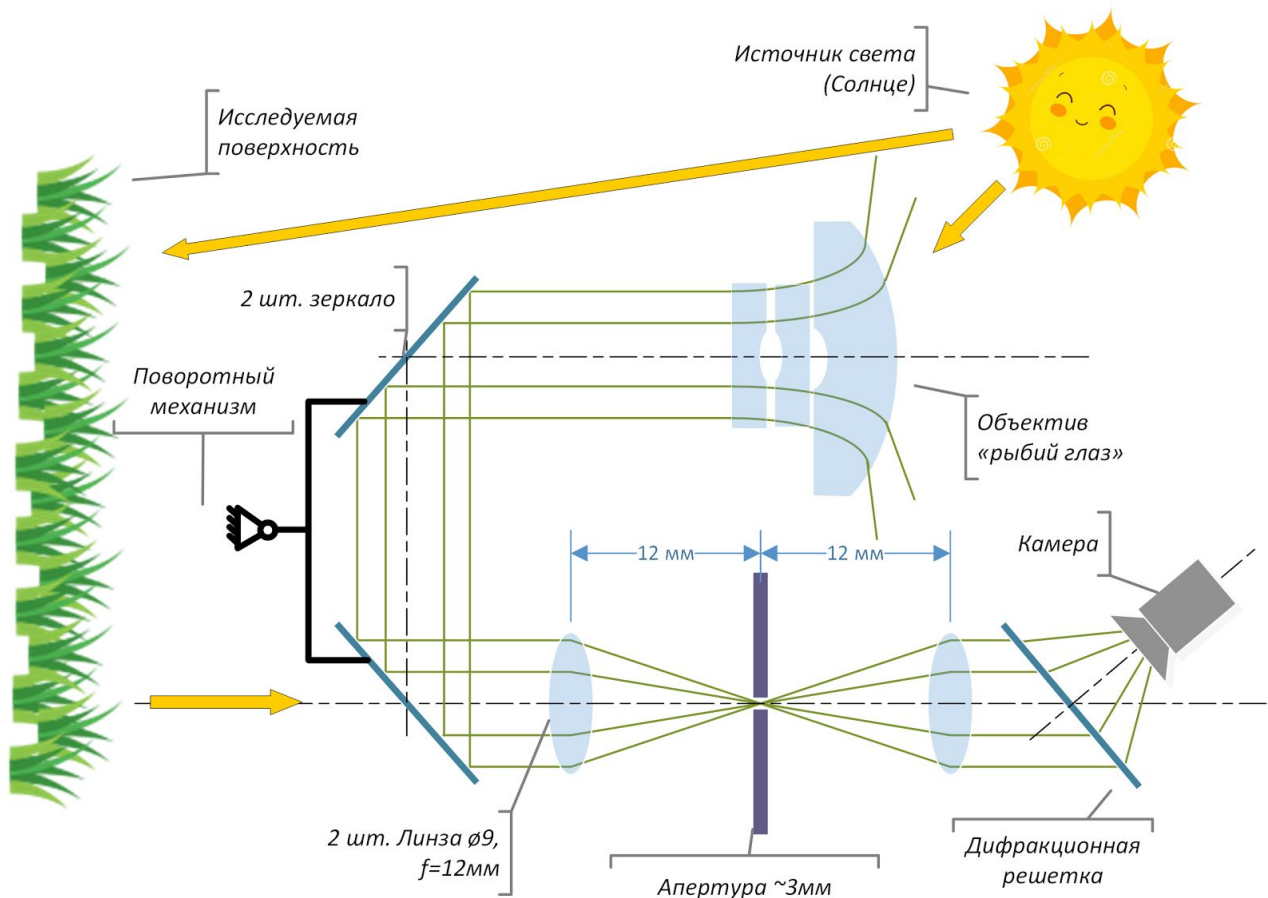


Рис.5. Оптическая система разрабатываемого спектрометра “Око”

Для возможности измерения как параметров света от источника (то есть Солнца), так и отражённого от поверхности был разработан барабан, обеспечивающий смену направления оптической оси спектрометра. В первом положении спектрометр направлен на зеркало, стоящее под углом в 45° , в котором отражаются лучи от второго зеркала, также стоящего под углом 45° . На это зеркало падает параллельный свет, прошедший через вертикальную трубу, куда он попадает с поверхности через глазок, собирающий свет со всех направлений. Таким образом возможно измерить спектр фоновое освещения.

После поворота барабана так, чтобы оптическая ось спектрометра проходила через отверстие, направленное вниз, возможно измерить спектр отражённого от поверхности света.

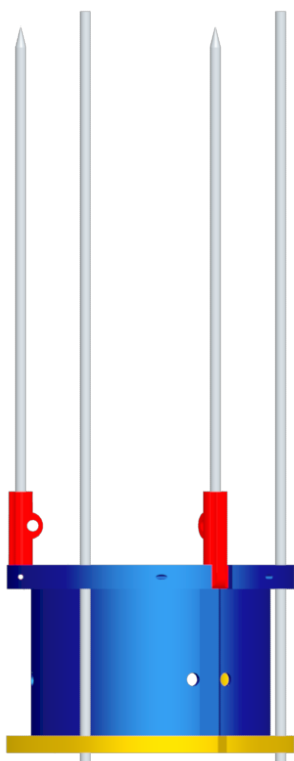


Рис.6. Общий вид системы “Зацепка”

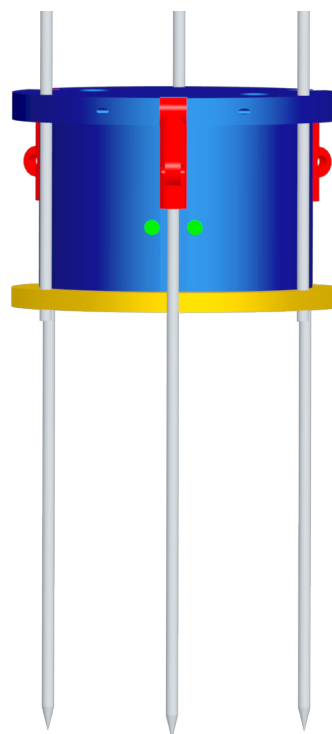


Рис.7. Активированные стержни системы “Зацепка”

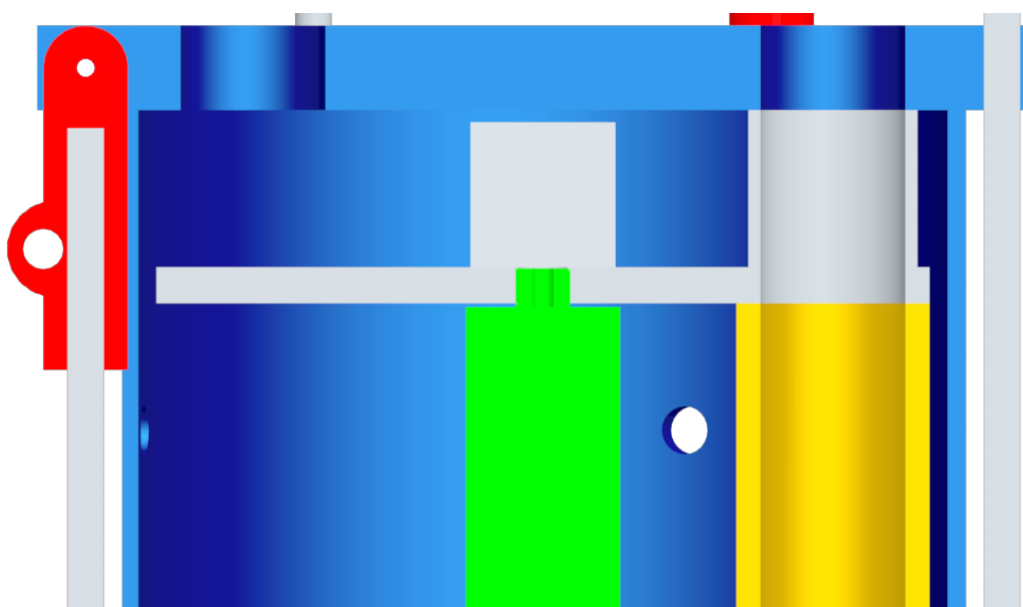


Рис.8. Увеличенный шарнир системы в сечении (в активированном состоянии). Вытягивающие резинки опущены для упрощения модели

Бортовой комплекс управления зонда

Бортовой комплекс управления — комплекс систем, расположенных на борту космического летательного аппарата и позволяющих осуществлять управление этим аппаратом [1].

Бортовая цифровая вычислительная система (БЦВС)

Бортовая цифровая вычислительная система представлена двумя вычислителями (рис.9):

- микроконтроллер общего назначения STM32F405RGT6 в составе полетного контроллера для БПЛА “Omnibus F4 PRO”;
- одноплатный компьютер Raspberry pi Zero на базе SOC BCM2835 (ARMv7).

Микроконтроллер общего назначения работает под управлением специально разработанной прошивки на основе операционной системы реального времени “FreeRTOS” и обеспечивает управление наиболее критическими по времени реакции функциями зонда, например, выпуском парашюта.

Одноплатный компьютер работает под управлением операционной системы общего назначения Linux (Raspbian) и обеспечивает управление сложными и требовательными к вычислительным ресурсам функциями аппарата, например управление камерой спектрометра.

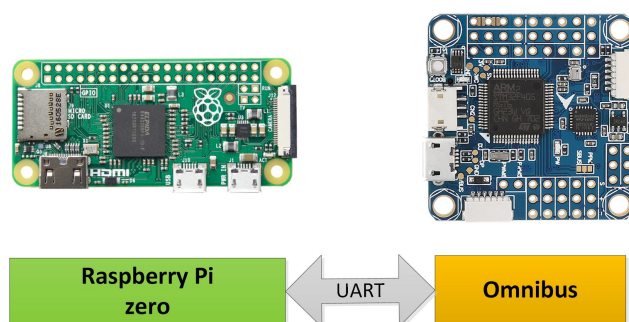


Рис.9. Бортовая цифровая вычислительная система

Вычислители связаны при помощи интерфейса UART, который служит для обмена телеметрическими сообщениями, командами и для синхронизации состояний. Оба вычислителя имеют средства хранения данных (SD карты) для

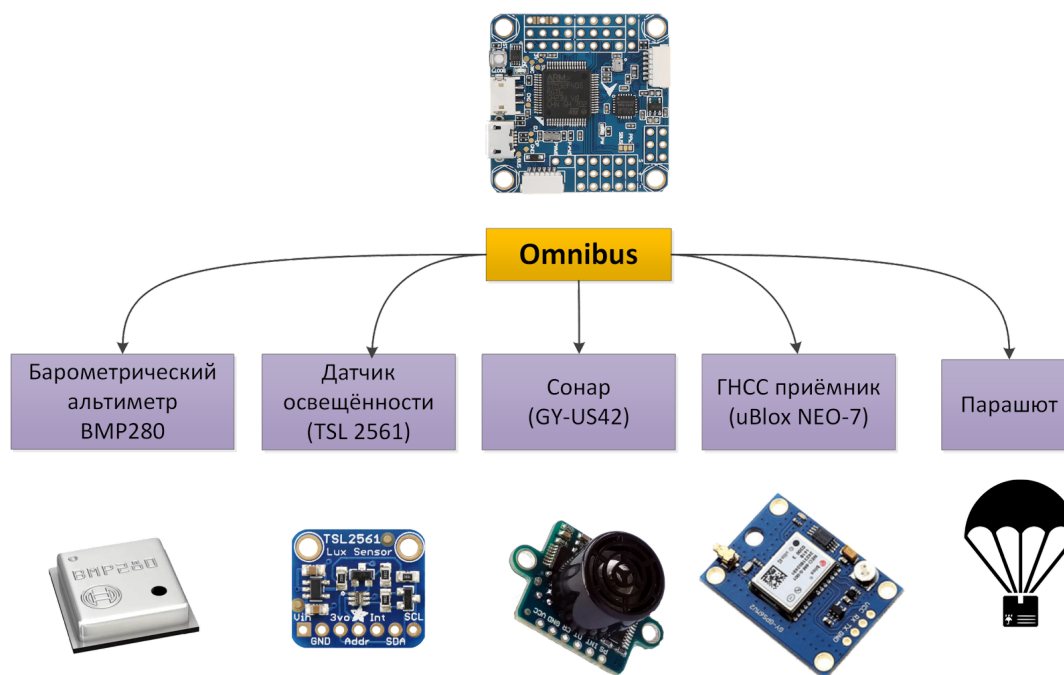


Рис.10. Система спасения

Алгоритм работы системы

По включению питания, система находится в пассивном режиме для удобной и безопасной погрузки аппарата в ракету-носитель. После погрузки аппарата, по получению специального сигнала с наземной станции, система переходит во взведённый режим, в котором программное обеспечение системы начинает анализировать показания датчика освещённости. После пуска ракеты и отделения аппарата показания датчика освещённости возрастут и это станет сигналом для перехода в следующий режим, в котором аппарат по показаниям барометрического альтиметра и ГНСС приёмника ожидает достижения пороговой высоты введения в работу парашюта. По достижению этой высоты парашют вводится в работу и дальнейший полёт проходит на нем. После введения в работу парашюта система анализирует показания сонара и, при достижении определённой высоты (определяется на этапе рабочего проекта), отделяет парашют для корректной работы систем “Око” и “Зацепка”.

Расчёт парашюта

В качестве системы спасения мы выбрали куполообразный парашют, так как он обладает наилучшими стабилизирующими свойствами, что крайне важно для поддержания вертикального положения при вхождении стержней в почву.

- пережигатель, отделяющий парашют от аппарата на базе силового транзистора IRF540N.

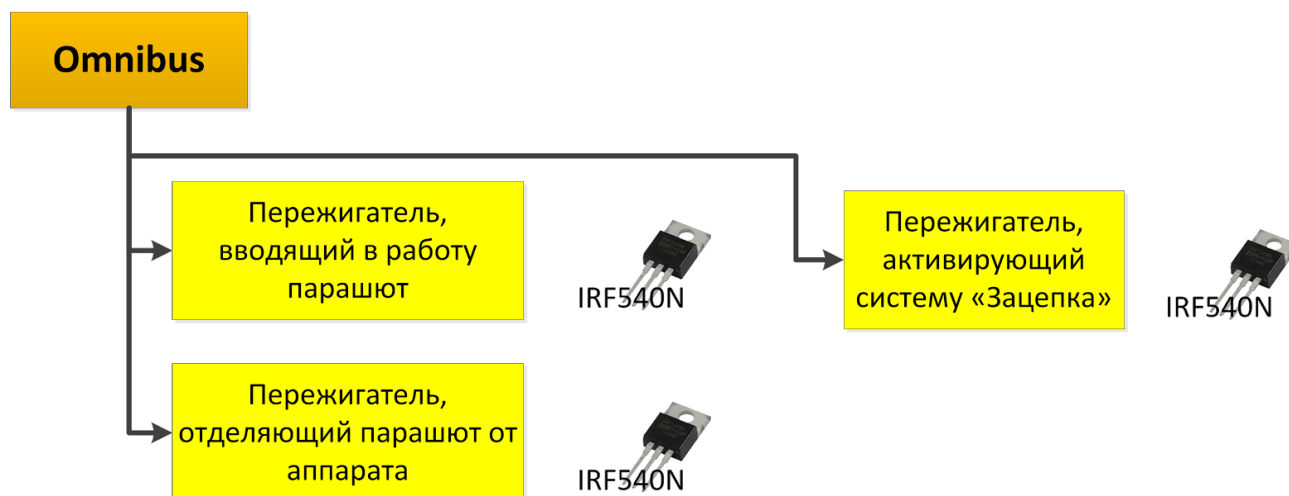


Рис.11. система управления бортовой аппаратурой

Бортовой радиотехнический комплекс (БРТК)

Бортовой радиотехнический комплекс включает в себя две подсистемы (рис.12):

- система передачи телеметрии в S-диапазоне на базе радиомодуля NRF24Lo1+-PA-LNA с внешней антенной;
- система передачи телеметрии при помощи 3G модема (Huawei E173) сотовой сети UMTS с внешней антенной.

Для радиомодуля NRF24Lo1+ используется слабо-направленная антенна на базе печатной платы. Для 3G модема используется штыревая антенна соответствующего диапазона DAM-P2 SMA. Антенны расположены так, чтобы они оказывали минимальное влияние друг на друга (рис.13.)

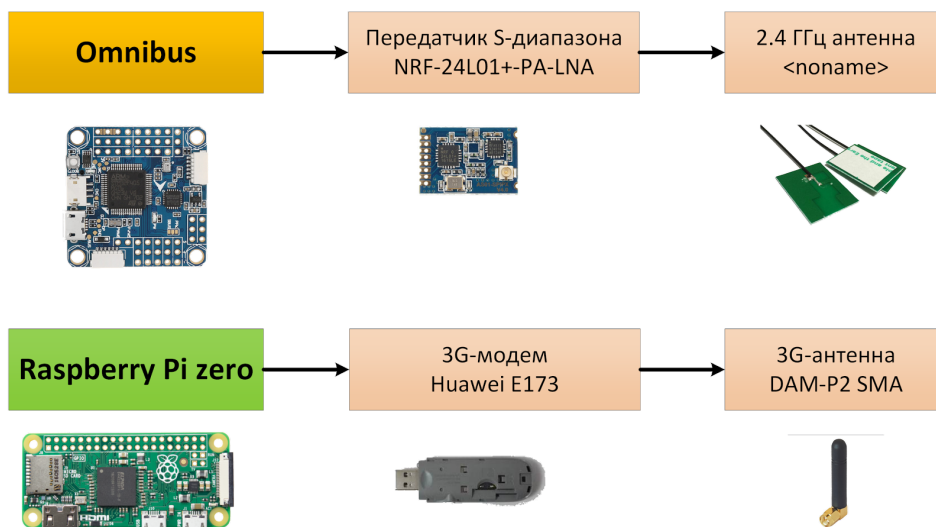


Рис.12. Бортовой радиотехнический комплекс

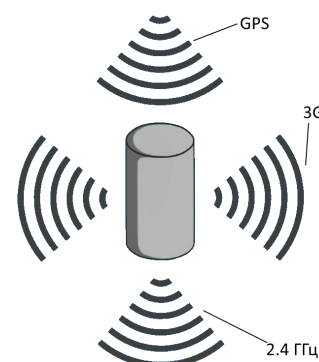


Рис.13. Взаимное расположение антенн БРК

Система электроснабжения (СЭС)

Система электроснабжения состоит из автономного элемента питания на базе литиевых ячеек и регуляторов напряжения, обеспечивающих стабильное напряжение для всех узлов.

Перечень элементов СЭС:

- аккумулятор Turnigy 1600mAh 2S 20C Losi Mini SCT Pack 1600 mAh;
- плата защиты аккумулятора;
- понижающий DC-DC преобразователь LM2596;
- LDO регулятор напряжения на 3.3 Вольта AMS1117;
- SBEC DC-DC преобразователь на 5 Вольт на полетном контроллере Omnibus.

СЭС обеспечивает несколько шин питания (рис 14):

- 7.4 Вольта - защищённая линия питания;
- 5 Вольт - шина питания с бортового SBEC преобразователя полетного контроллера;
- 5 Вольт - шина питания для Вычислителя на базе Raspberry Pi и управляемым ей аппаратурой;
- 3.3 Вольта - шина питания для аппаратуры, рассчитанной на соответствующее напряжение.

Использование платы защиты необходимо для продления срока службы аккумуляторов на этапах изготовления и отработки зонда. Использование отдельных шин питания для каждого из вычислителей повышает их автономность и снижает нагрузку на преобразователи.

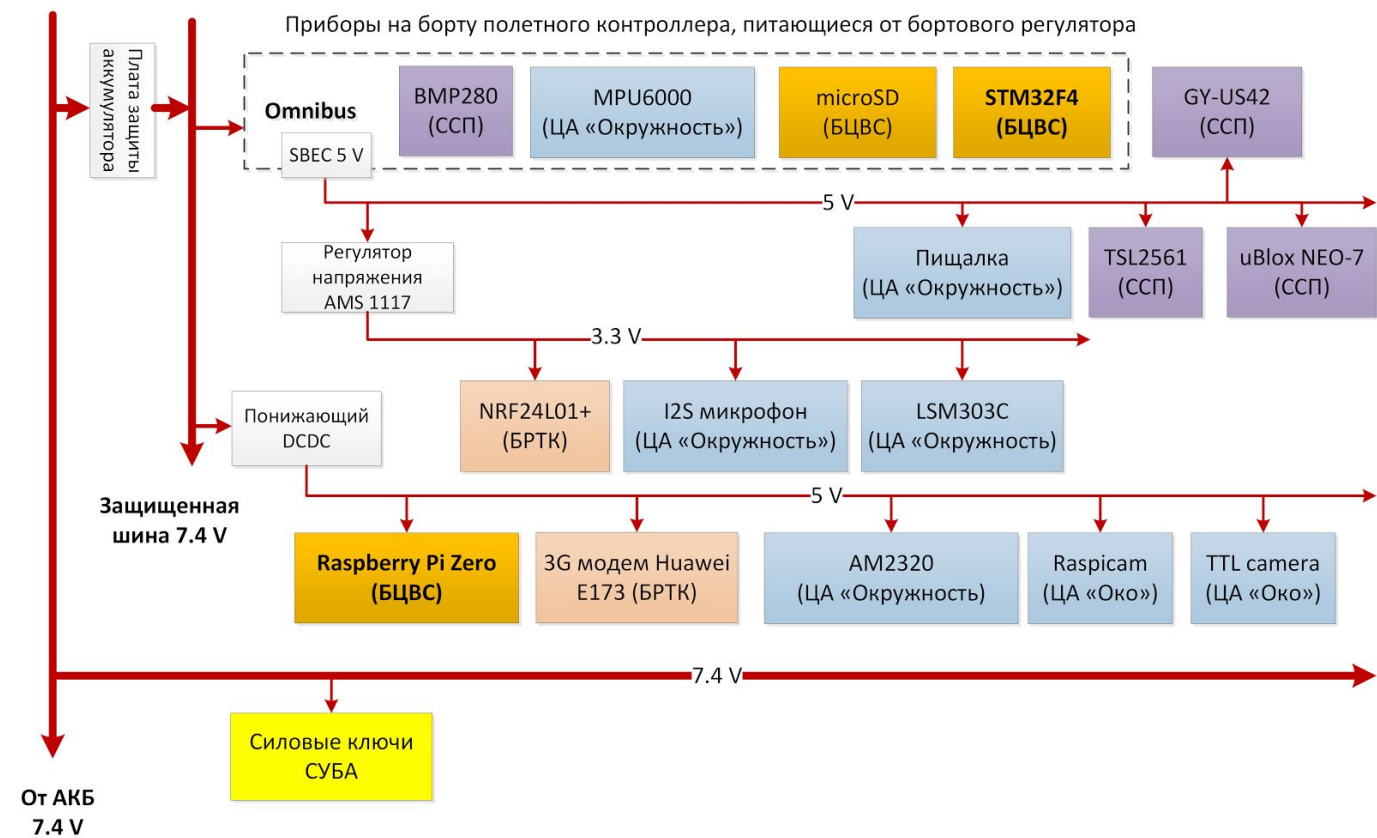


Рис.14. Система электроснабжения

Таблица 1. Расчёт энергопотребления аппарата

Наименование	Модель	Кол-во	Напряжение питания, В	Потребление, мА	Время работы, с	Потребленная энергия, Дж
Бортовой комплекс управления						
Полетный контроллер	Omnibus F4 pro V2	1	3,3	245	10 800	8 731
Радиомодуль	NRF24Lo1+PA+LNA (ipx)	1	3,3	147	3600	1746
3G Модем	HUAWEI E173U-2	1	5	170	3600	3060
Датчик освещённости	TSL2561	3	3,3	1	10 800	65

Бортовая кабельная система

Данная система в разрабатываемом зонде выражена слабо и представлена различными шлейфами и жгутами кабелей, присоединёнными к приборам при помощи пайки. Планируется использование кабелей в изоляции МГТФ.

Общая схема подключения интерфейсными кабелями показана на рисунке 8.

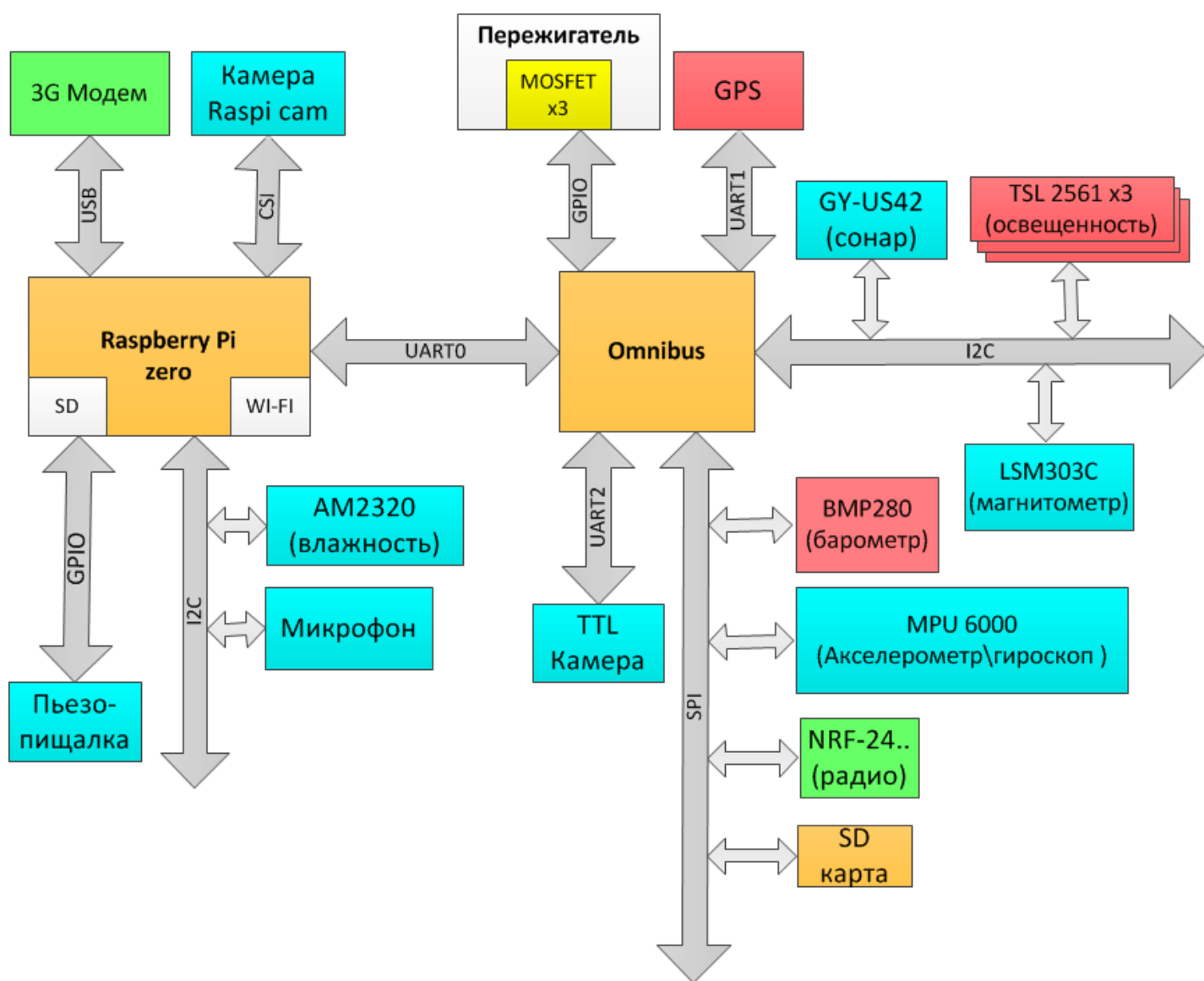


рис.15. Бортовая кабельная система

Конструкция

Конструкция аппарата основана на трёх стержнях, с помощью которых соединяются все его компоненты. Аппарат разделён на несколько блоков:

- блок бортовой спектрометрической установки “Око”;
- основной блок электроники;
- блок системы спасения

Блок бортовой спектрометрической установки “Око”

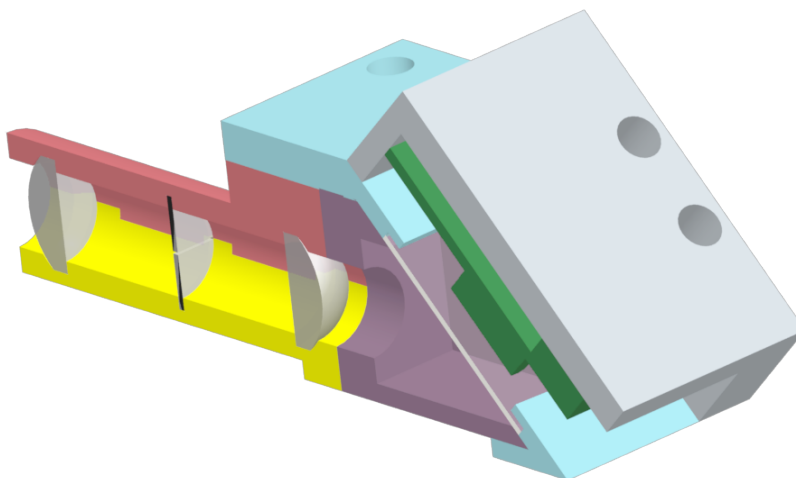


Рис.16. продольное сечение спектрометрической установки

Блок расположен в нижней части аппарата, состоит из непосредственно спектрометрической установки “Око” и барабанной установки смены ориентации оптической оси. В полостях, расположенных по бокам от сервопривода барабанной установки, будут расположены сонар, камера (они должны быть расположены на дне аппарата) и другие электронные компоненты.

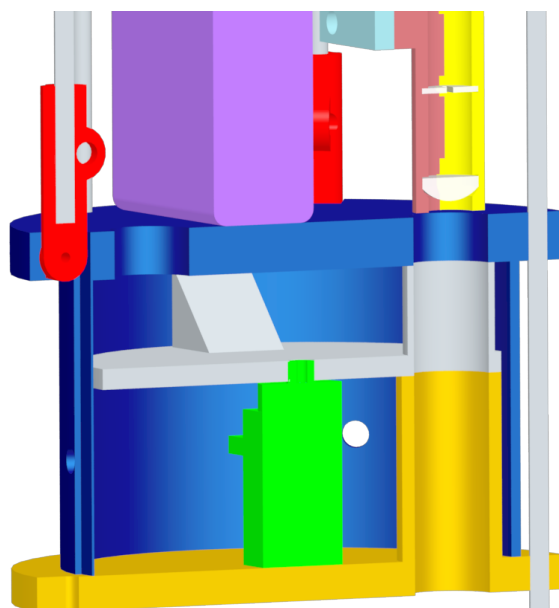


Рис.17. продольное сечение барабанной установки

Основной блок электроники

Блок расположен в средней части аппарата, в нём будет расположено большинство электронных компонентов аппарата.

Блок системы спасения

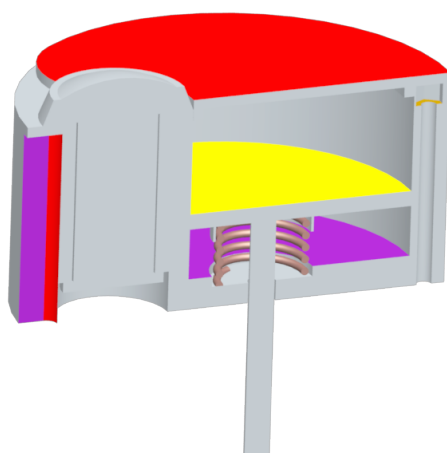


Рис.18. Блок системы спасения

Блок состоит из парашюта и средств его активации, базирующихся на пружине, выталкивающей платформу, и крышке, зафиксированной при помощи пережигаемой нити. Расположен в верхней части аппарата. Через отсек проходит световод, оканчивающийся сверху глазком для сбора солнечных лучей.

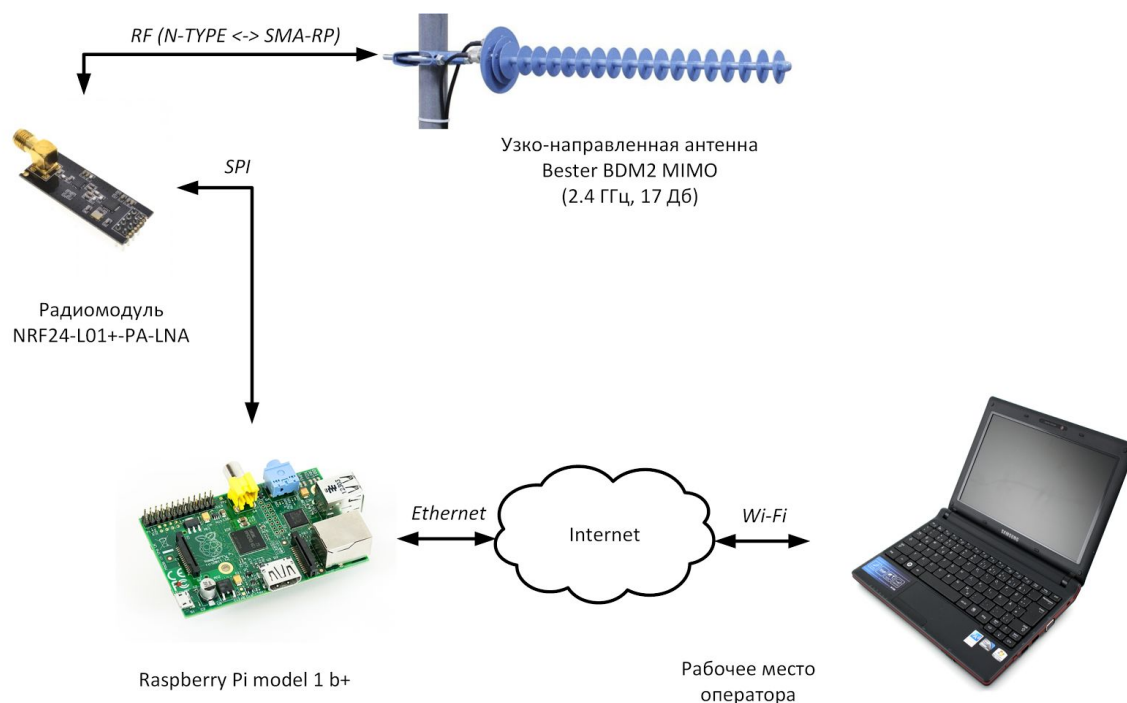


рис.19. Бортовая кабельная система

Радиомодуль размещается в металлическом корпусе. На панель корпуса при помощи “пигтейла” выведен разъем N-TYPE, посредством которого модуль связан с антенной, имеющей аналогичный разъем. Поскольку радиомодуль NRF24Lo1+ имеет только SPI интерфейс, для его связи с ПК оператора используется посредник - одноплатный компьютер, который связан с ПК оператора при помощи патч-корда Ethernet.

Информационное взаимодействие компонентов системы

Все программные компоненты системы обмениваются информацией при помощи сообщений протокола MAVLink [5] - коммуникационного протокола для ограниченных по вычислительным ресурсам и каналам связи систем. Вся система разделена на 4 подсистемы (по месту исполнения программ): подсистемы Omnibus F4 и RaspberryPi (расположены на борту аппарата), подсистема НИП и подсистема ЦУП.

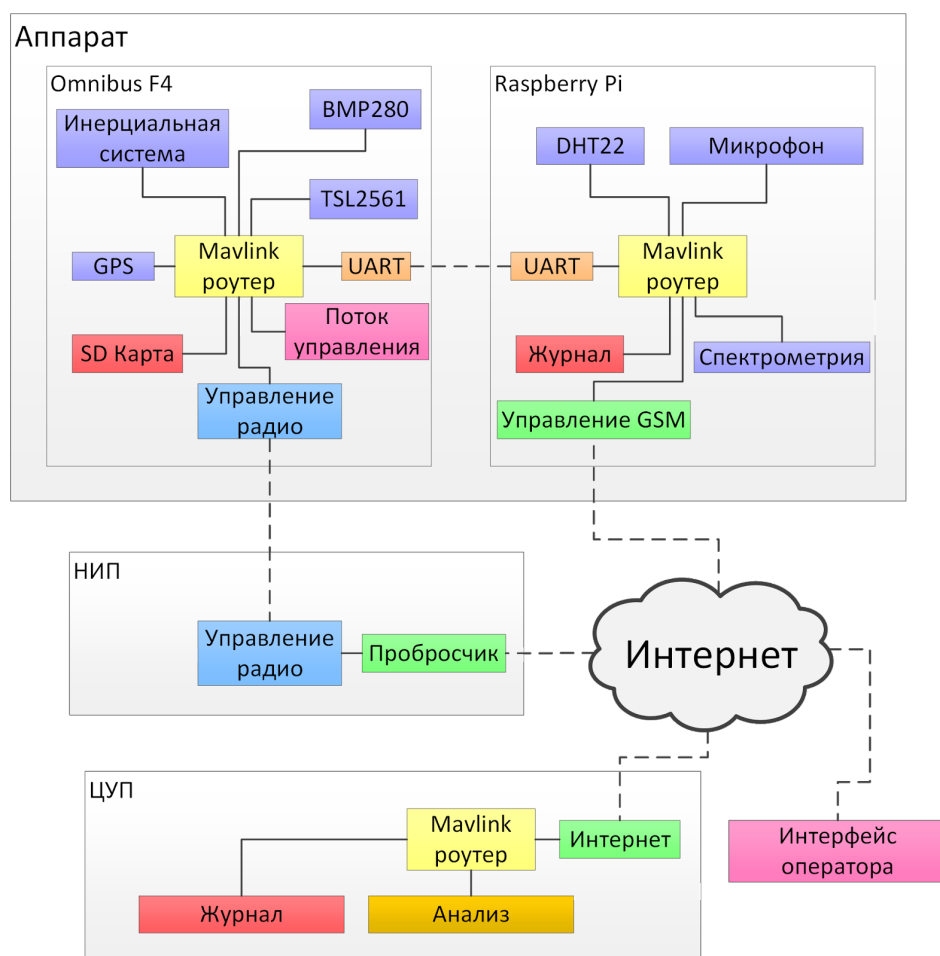


рис.20. Компоненты ПО аппарата

За счёт двух каналов связи между аппаратом и наземным комплексом достигается повышенная надежность и резервирование.

Программные компоненты, контролирующие интерфейсы передачи (на рисунке - зелёный, голубой и персиковый) отвечают за передачу сообщений между подсистемами.

Интерфейс оператора, выполняющийся независимо, и главный поток управления, выполняющийся на Omnibus F4, (на рисунке - розовый) рассылают другим программным компонентам управляющие команды на основе данных от системы и команд оператора. Датчики (на рисунке - фиолетовый) посылают телеметрию, которую принимают компоненты хранения и компоненты управления.

Компоненты хранения данных (на рисунке - красный) отвечают за сохранение всех пакетов, проходящих в системе для возможности последующего анализа.

Планируемое развитие проекта

При разработке данного аппарата нами, кроме прочего, были проведены исследования технологии забора грунта и его последующей спектроскопии для обнаружения гуминовых кислот - важного признака наличия жизнедеятельности. К сожалению, в этом году наработки по данным задачам не войдут в миссию аппарата, однако в следующем году наша команда планирует провести также и исследование почвы.

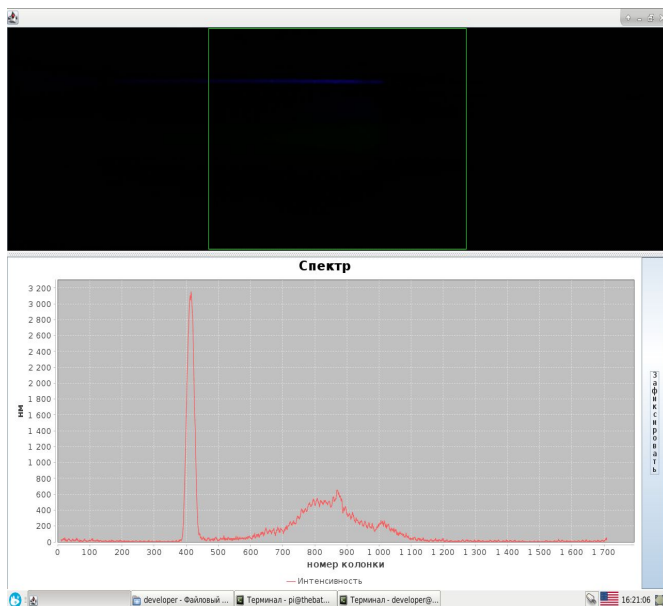


Рис.21. Спектр люминесценции гуминовых кислот

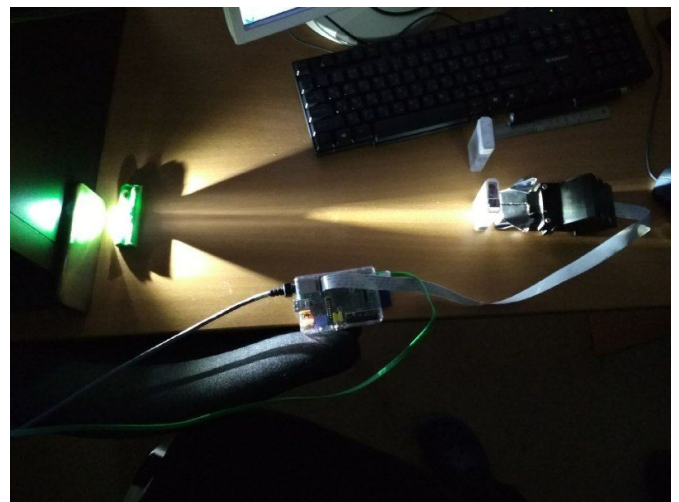


Рис.22. Эксперимент с получением спектра поглощения раствора почвы

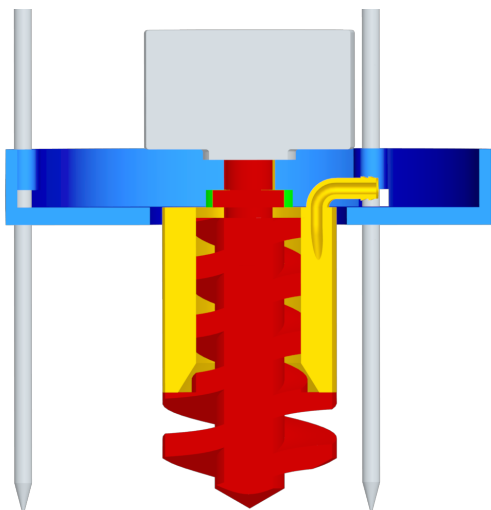


Рис.23. Прототип буровой установки

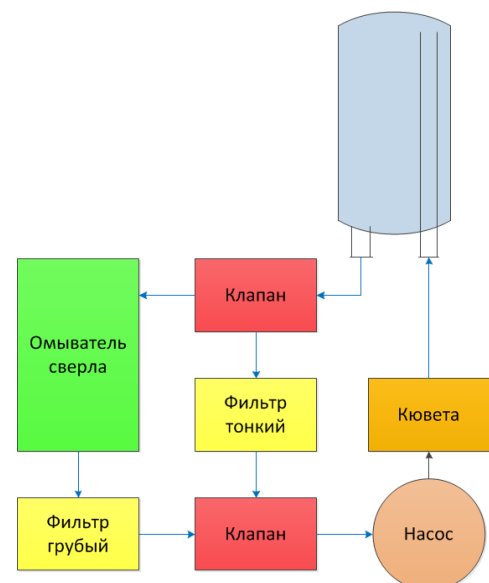


Рис.24. Разрабатываемая система пробоподготовки