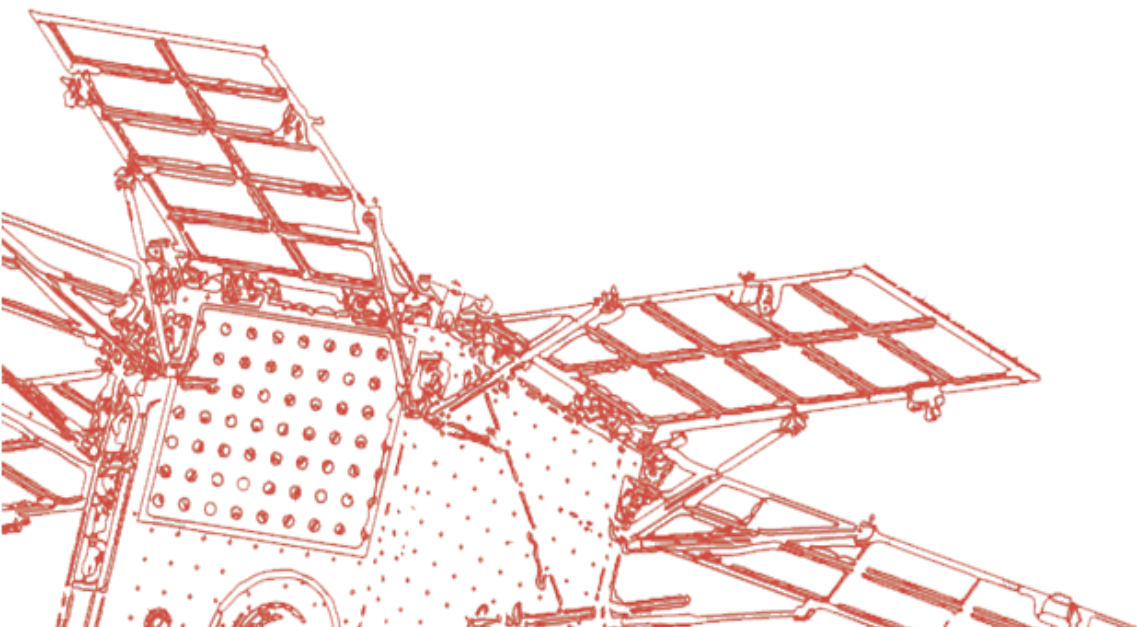


# Техническое описание

## Станция приёма данных и управления спутниками

### «Завиток»





Комплекс «Завиток» предназначен для использования в составе центров управления полётом, а также для использования в образовательных целях. Комплекс обеспечивает приём телеметрии с малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите и передачи команд управления на них. Комплекс предназначен для работы в соответствии с регламентом любительской радиосвязи.

### Состав комплекса

- направленная антенна на опорно-поворотном устройстве;
- комплект неподвижных обзорных антенн с диплексором-усилителем;
- контроллер и интерфейс ОПУ с рабочей станцией;
- совмещённый усилитель (МШУ+усилитель мощности);
- инжектор питания;
- рабочая станция;
- телекоммуникационный шкаф;
- необходимые кабели и хомуты (включая кабели снижения);
- SDR-приёмник;
- SDR-приёмопередатчик;
- веб-камера для визуального контроля поворотной антенны.

## Технические характеристики

Диапазон частот направленной антенны	не уже 435...438 МГц
Диапазоны частот обзорных антенн	136..146 и 435...438 МГц
Мах. скорость передачи и приёма данных	не менее 9600 бит/с
Выходная мощность передатчика	не менее 4 Ватт
Ном. коэфф. усиления как минимум одной антенны	не менее 8dBi
Поддерживаемые транспортные протоколы	как минимум AX.25
Поддерживаемые виды модуляции	FSK (GFSK, GMSK и т.д.), PSK (QPSK, OQPSK)

## Возможности комплекса

Комплекс обеспечивает:

- приём телеметрии с космических аппаратов, использующих для передачи открытые протоколы, такие как AX.25 и его вариации;
- передачу телекоманд и приём квитанций по аналогичным протоколам;
- приём и передачу массивов данных;
- приём снимков со спутников NOAA, передаваемых в УКВ-диапазоне APT-протоколом;
- приём снимков со спутников Метеор-М, передаваемых в УКВ-диапазоне LRPT-протоколом.

Аппаратная часть комплекса использует открытые распространённые интерфейсы, за счёт чего она совместима с большим количеством открытого ПО:

- LRPT decoder;
- Wxtolmg;
- GNURadio;
- Gpredict;
- Sound modem;

## Краткое описание

Комплекс можно условно разделить на две части – антенный комплекс и радиотехнический комплекс. Его схема приведена на рис 1.

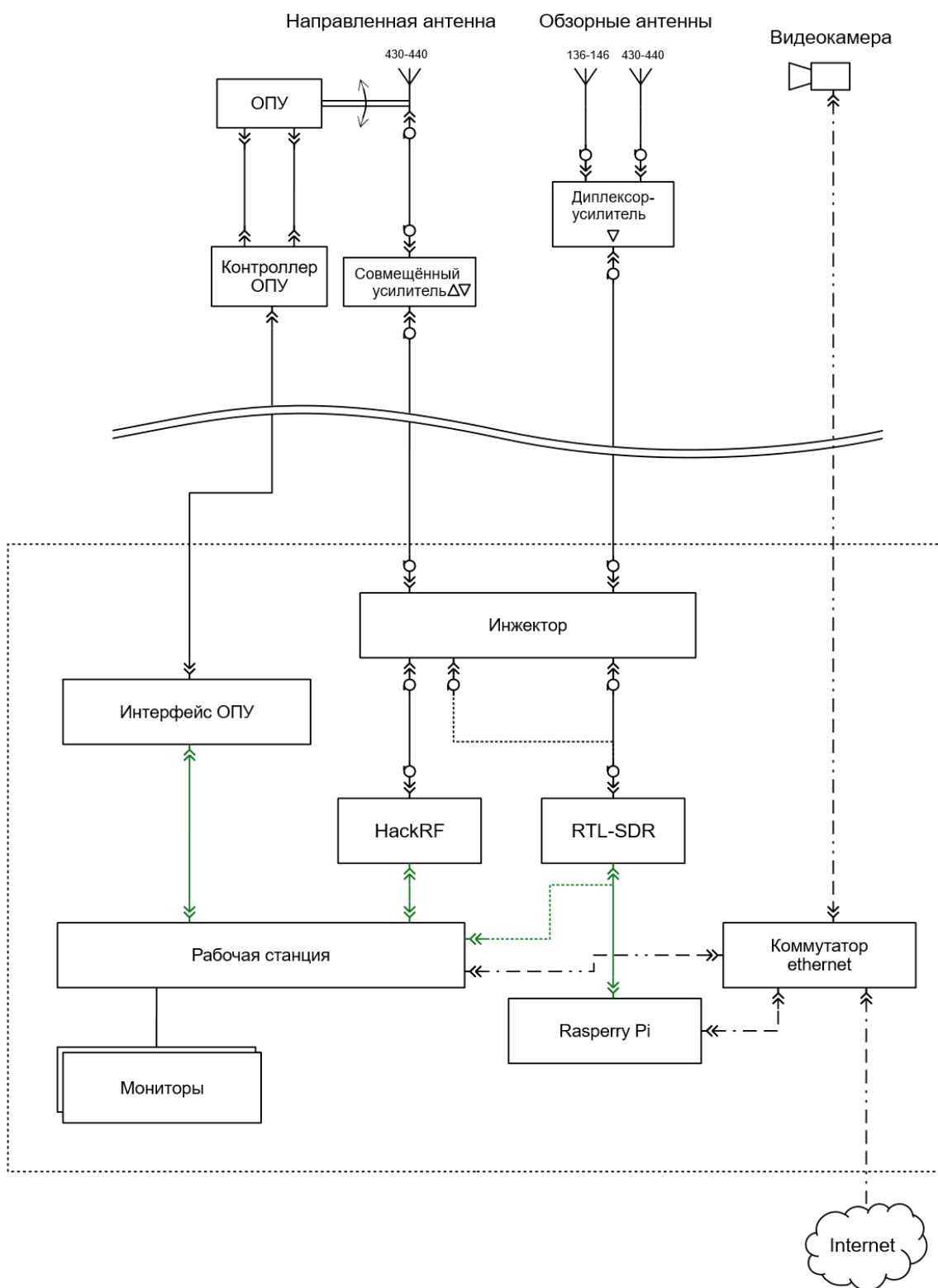


Рисунок 1: Схема комплекса "Завиток"

В антенный комплекс входят три антенны.

Две из них – обзорные, представляют собой неподвижные квадрифиллярные антенны. Они могут быть использованы для приёма снимков с метеорологических КА NOAA и Метеор, приёма телеметрии с КА, работающих в диапазоне частот 136-146 МГц, а также приёма телеметрии с КА, работающих в диапазоне частот 430-440 МГц, при ограничении угла места величиной более 20...30 градусов, но без необходимости наведения антенны КА на небе, что удобно при отсутствии данных об орбитальных параметрах КА и при одновременной работе с несколькими КА. Антенны используются с усилителем-диплексором, который усиливает принимаемые сигналы для компенсации потерь в кабеле снижения и обеспечивает смешивание сигналов в двух диапазонах в один кабель. Изображения обзорных антенн приведены на рис. 2.

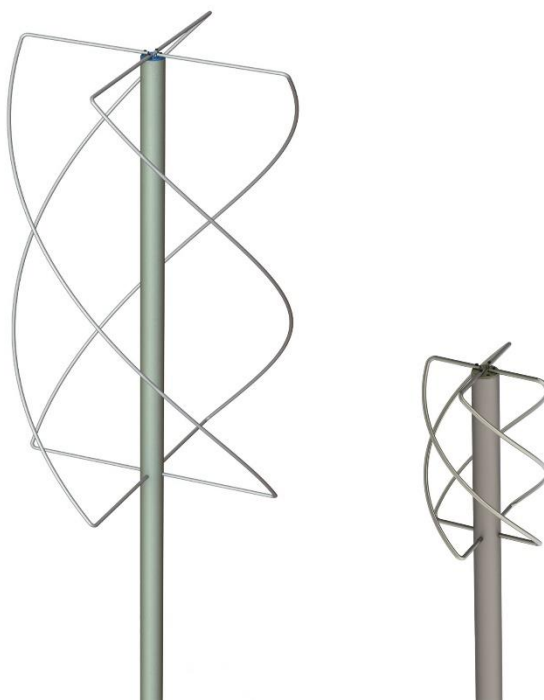


Рисунок 2: Обзорные антенны

Третья антенна – направленная, достаточно высокого усиления, чтобы в типичном случае обеспечивать работу с КА в диапазоне 430...440 МГц с углов места около 5°. Эта антенна установлена на двухкоординатном опорно-поворотном устройстве, позволяющем навести её в любую точку неба. Направленная антенна используется с совмещённым усилителем, который включает в себя малошумящий усилитель с фильтром и усилитель мощности, а также автоматическую (VOX) схему переключения приём-передача.

Установка усилителя мощности в непосредственной близости от антенны позволяет, соблюдая ограничение по мощности передатчика любительской

радиостанции третьей категории, получить ЭИИМ (EIRP), достаточно высокую для уверенной связи с космическими аппаратами. Изображение направленной антенны представлено на рис. 3.

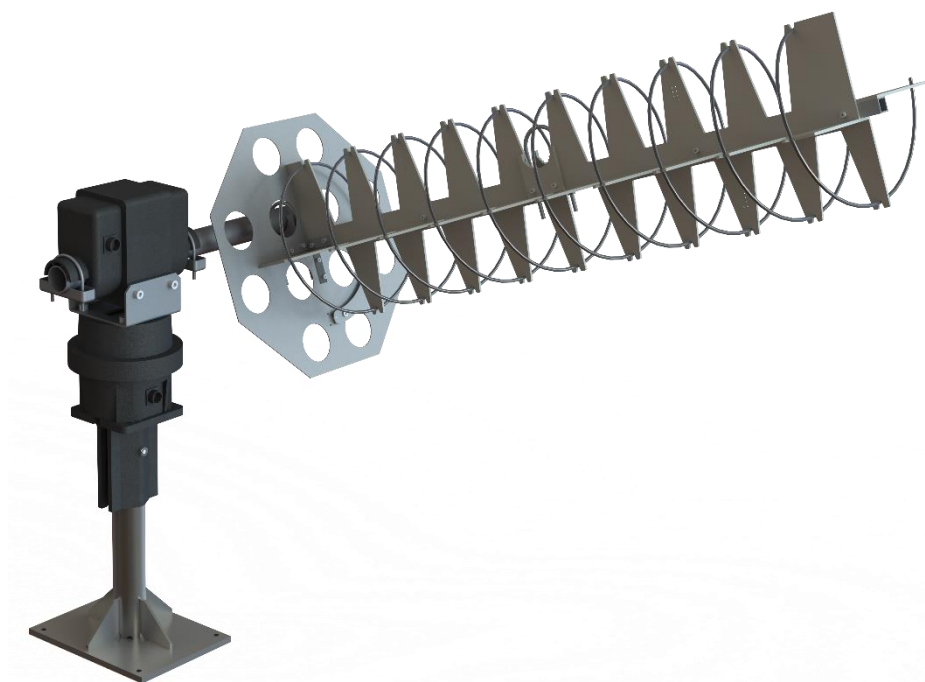


Рисунок 3: Направленная антенна

Также в антенный комплекс входит видеочкамера, позволяющая контролировать положение и состояние антенны. Это обеспечивает большую зрелищность, удобно в образовательных задачах и упрощает работу оператора. Примерный вид с камеры представлен на рис. 4.



Рисунок 4: Вид направленной антенны с веб-камеры.

Питание всех устройств, входящих в антенный комплекс – фантомное (то есть осуществляется по сигнальному кабелю), низковольтное.

Основой радиотехнического комплекса является рабочая станция с развёрнутым на ней ПО. К ней подключён SDR-приёмопередатчик HackRF и, при необходимости, SDR-приёмник RTL-SDR (в качестве альтернативы возможно использование приёмопередатчика Lime-SDR). Связь SDR-устройств с антеннами осуществляется через инжектор, который подаёт в кабель фантомное питание для устройств антенного комплекса, осуществляет доусиление сигнала передатчика, и служит пач-панелью для коммутации различных конфигураций станции, позволяя подключать любые устройства к любым антеннам.

Интерфейс ОПУ осуществляет управление опорно-поворотным устройством по командам с рабочей станции через USB-интерфейс и передаёт в обратную сторону положение антенны. Предусмотрено также прямое ручное управление (повороты, установка в штормовое положение, аварийная остановка).

Raspberry Pi позволяет легко организовать интеграцию станции в международную сеть SatNOGS. Сетевой коммутатор обеспечивает объединение устройств по интерфейсу Ethernet и доступ во внешний мир.

## **Программное обеспечение.**

Определение положения КА на небе, исходя из его орбитальных элементов, осуществляется ПО GPredict либо Orbitron. На основе расчётов определяется поправка частоты для компенсации эффекта Доплера и передаётся в приёмное ПО. GPredict осуществляет также управление положением направленной антенны через стандартный интерфейс HamLib. Для приёма сигнала используется ПО SDR Sharp либо GnuRadio. Возможно также использование других программ, таких как SDR Angel либо HDSDR. Для декодирования демодулированного сигнала и извлечения цифровых пакетов может быть использован SoundModem или аналогичный скрипт в GnuRadio. Далее по TCP/IP декодированная телеметрия может быть направлена на сервер, отправлена в международную сеть SatNOGS и визуализирована в числовом или графическом виде.

Для получения снимков используется ПО WxToIMG или LRPT decoder.