

# Радиоинтерфейсы, применяемые с БЛА

## Аналитическая справка

**1. Коммерческие дроны (DJI, Autel, Fimi)** имеют «стандартные» протоколы передачи данных. Их можно незначительно откорректировать прошивками (сняв ограничения по заблокированным ранее регионам использования, мощности сигнала и т.п.).

### 1.1. DJI

DJI — лидер на рынке коммерческих дронов. Основные протоколы DJI, используемые в их дронах, включают OcuSync, OcuSync 2.0, OcuSync 3.0, и Lightbridge (устаревшая технология). Есть возможность использования для радиосвязи обычного Wi-Fi.

Частотный диапазон от 2,400 ГГц до 2,4835 ГГц для передачи команд управления, телеметрии и видео, от 5.725 ГГц до 5.875 ГГц для передачи видео.

Дальность до 15 км в прямой видимости (OcuSync 3.0), до 2 км (Wi-Fi)

Задержка передачи видео от 30 (OcuSync 3.0) до 150 мс (Lightbridge) с видеокодеками H.264 и H.265.

Устойчивость к помехам обеспечивается режимом ППРЧ.

Тип модуляции BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM с автоматическим переключением типа модуляции.

В случае работы по Wi-Fi используется сигнал OFDM с автоматическим переключением типа модуляции от BPSK до 256QAM внутри канала.

### 1.2. Autel Robotics

Autel Robotics - конкурент DJI на рынке дронов, предлагающий свои решения для видеосъемки и аэрофотосъемки. Они используют свою технологию Autel SkyLink. Есть возможность использования для радиосвязи обычного Wi-Fi.

Диапазоны частот те же, но используется только OFDM. Возможность ППРЧ под вопросом, но могут автоматически

переключаться диапазоны 2,4 и 5,8 ГГц. Задержка передачи видео около 30-40 мс, дальность радиосвязи до 12 км в прямой видимости.

### 1.3. Fimi

Fimi - бренд, связанный с Xiaomi, предлагающий бюджетные решения для дронов. Fimi использует свою собственную технологию радиосвязи, основанную на временном разделении каналов TDMA в диапазоне 2,4 ГГц с модуляцией FSK/GFSK. ППРЧ нет, использование OFDM под вопросом. Задержка передачи видео около 120-150 мс, дальность радиосвязи до 8 км в прямой видимости. Есть возможность использования для радиосвязи обычного Wi-Fi.

**2. FPV (First-Person View) дроны** - дешёвые дроны, собранные кустарным (полукустарным) способом из отдельных блоков (управление, полетный контроллер, видео и т. д.). Отличаются большим разнообразием (буквально собирают из того, что удалось достать через интернет и волонтеров), поэтому сложнее поддаются обнаружению. В отличие от коммерческих дронов имеют два независимых радиоканала, работающих на разных частотах: канал управления и канал передачи видео. Телеметрия с дрона обычно не передается.

#### 2.1. Протоколы управления

Протоколы управления в FPV используются для передачи команд с пульта управления на дрон и могут работать в диапазоне от 700 до 1100 МГц (часто называют просто диапазон 900 МГц). Общая тенденция идет к уменьшению частоты в сторону 400 МГц и ниже или возврату к стандартному диапазону 2,4 ГГц. Всё зависит от наличия у противника РЭБ на соответствующий диапазон.

Основные протоколы управления в FPV:

2.1.1. TBS Crossfire - один из самых популярных протоколов управления для FPV, разработанный компанией Team BlackSheep. Частотный диапазон 900 МГц, что обеспечивает большую дальность и лучшее проникновение сигнала через препятствия, например, деревья или здания. Дальность радиосвязи заявляется до 100 км в прямой

видимости. Задержка около 5-10 мс. Тип модуляции GFSK. Возможность работы с ППРЧ.

2.1.2. TBS Tracer - высокоскоростная система управления от Team BlackSheep, предназначенная для гонок FPV. Частотный диапазон 2,4 ГГц. Дальность радиосвязи заявляется до 25 км в прямой видимости. Задержка около 4 мс. Тип модуляции QPSK. Возможность работы с ППРЧ.

2.1.3. ExpressLRS - это открытая система управления FPV с низкой задержкой и высокой дальностью, разработанная сообществом. Поддержка частотных диапазонов 900 МГц и 2,4 ГГц. Дальность до 100 км в режиме 900 МГц, около 25 км в режиме 2,4 ГГц. Задержка около 4 мс в режиме 2,4 ГГц. Тип модуляции LoRa, основанная на расширении спектра с помощью ЛЧМ импульсов (Chirp Spread Spectrum) и альтернативно GFSK. Возможность работы с ППРЧ.

2.1.4. FrSky - бренд дронов FPV, предлагающий протоколы ACCST и ACCESS. Частотный диапазон 2,4 ГГц. Дальность радиосвязи заявляется до 10 км в прямой видимости. Задержка около 20-30 мс. Тип модуляции GFSK. ППРЧ под вопросом.

2.1.5. Futaba - один из старейших производителей систем радиоуправления для авиамоделей, предлагающий протокол FASST. Частотный диапазон 2,4 ГГц. Дальность радиосвязи заявляется до 2 км в прямой видимости. Задержка около 14 мс. Тип модуляции GFSK с ППРЧ.

## 2.2. Протоколы передачи видео

Протоколы передачи видео в FPV предназначены для передачи видеопотока в реальном времени от дрона к наземной станции (например, FPV-очки или монитор). Основные диапазоны видеоканалов FPV: 1,080 - 1,360 ГГц, 2,400 - 2,483 ГГц, 4,990 - 5,950 ГГц. Данные диапазоны условно именуется 1.2, 2.4, 5.2 и 5.8 ГГц соответственно.

Общая тенденция идет к переходу на нестандартные частоты и использование всего диапазона от условно 500 МГц до 7 ГГц.

Основные протоколы передачи видео в FPV:

#### 2.2.1. Аналоговые видеопередатчики (VTx)

Аналоговые видеопередатчики (VTx) — это традиционный метод передачи видео в FPV-дронах. Почти 99% FPV дрон имеют аналоговый видеоканал. Частотный диапазон любой. Очень низкая задержка 10 мс. Формат видео PAL (чаще всего) или NTSC.

2.2.2. DJI FPV (OcuSync 2.0/3.0) - цифровая система передачи видео. Частотный диапазон 2,4 ГГц и 5,8 ГГц. Задержка около 28-50 мс в зависимости от качества видео. Тип сигнала OFDM с переключением модуляции от BPSK до 64QAM в зависимости от качества видео.

2.2.3. HDZero (Shark Byte) - цифровая система передачи видео. Частотный диапазон 5,8 ГГц. Задержка около 20 мс для качества видео 720p. Тип модуляции BPSK/QPSK.

2.2.4. Walksnail Avatar HD - цифровая система передачи видео. Частотный диапазон 5,8 ГГц. Задержка около 20-30 мс в зависимости от качества видео. Тип сигнала OFDM с переключением модуляции от BPSK до 64QAM в зависимости от качества видео.