



пнппк

**Организация цифровых закрытых радиосетей
для передачи данных, речи,
видеоданных/управления БПЛА,
местоположения в тактическом звене
управления в условиях радиоэлектронного
противодействия**

Докладчик:

Корноушкин Александр Васильевич



Из выступления Президента РФ на коллегии министерства обороны, декабрь 2022 г.

Три главных тезиса:

- **Система цифровой радиосвязи и управления** для передачи данных и речи в тактическом звене
- **АСУ В** автоматизированной системы управления войсками, особенно в тактическом звене
- **БПЛА** с защищенными каналами управления и передачи видео

По сообщениям министерства обороны Украины 4 февраля 2023 г. официально принята на вооружение

Три главных компонента:

- **Delta monitor** - инструмент сбора, обработки и отображения информации о силах противника, координации сил обороны, а также обеспечения ситуативной осведомленности по стандартам НАТО
- **Element** - защищенный мессенджер для взаимодействия и координации действий подразделений
- **Delta tube** - защищенный канал передачи видео

Тактическая радиосвязь на базе аналоговой радиостанции Baofeng UV-5R



Технические характеристики

- два рабочих частотных диапазона: 136-174, 400-520 МГц
- мощность передатчика: до 8 Вт
- частотная модуляция
- количество каналов 128
- дальность связи до 5-7 км
- отличное соотношение цена/качество

Основной недостаток – **плохая скрытность** вследствие:

- метод модуляции ЧМ легко подвергается пеленгации за счет передачи высокой мощности в узкой полосе частот
- отсутствует маскирация (скремблирование или кодирование) речи



Опционально

- режим дуплексного ретранслятора
- встроенный ГЛОНАСС/GPS
- интерфейс для подключения датчиков функционального состояния сотрудника (ЭКГ, пульс, температура, положение тела, отсутствие движения и т.д.)

Технические характеристики

- рабочий частотный диапазон: 800-970 (500-1000) МГц
- модуляция: шумоподобный сигнал
- количество каналов: до 50000
- мощность передатчика: до 1 Вт
- дальность связи: 3-5 км между носимыми радиостанциями,
.....5-10 км работа через ретранслятор
- встроенный Wi-Fi / Bluetooth для связи с планшетом, смартфоном

Преимущества

- скрытность радиопереговоров за счет кодирования речевого сигнала
- исключение пеленгации за счет модуляции ШПС и режима ППРЧ
- работа в условиях поражения части спектра заградительными помехами
- защищенный мессенджер для координации действий подразделений

Радиостанция переходит в режим ожидания (нет приема-передачи, нет доступа к меню каналов), если:

- нажата кнопка угрозы захвата
- истек период времени действия кода подтверждения работы или кода работы под принуждением
- длительно отсутствует движение (контроль по акселерометру)
- нет сигнала от датчика функционального состояния (если он подключен), специально обученного на человека

Радиостанция превращается в кирпич (встроенное ПО стирается), если:

- произошло несанкционированное вскрытие корпуса
- истек период времени регистрации в сети MANET
- аварийно длительно отсутствует движение (контроль по акселерометру)
- сигнатура от датчика функционального состояния подменена на другого человека

Нашлемная цифровая камера ХИТ (перспективная разработка, фото условное)



Технические характеристики

- потоковое видео, разрешение 0.5 – 4 Мр
- видеокодек H.264, H.265
- количество кадров в секунду: до 60
- передача звука
- рабочий частотный диапазон: 2.4 ГГц, 5ГГц
- мощность передатчика: до 1 Вт
- дальность связи: до 300 м между нашлемными камерами в режиме сети MANET, до 5 км через ретранслятор (БПЛА)

Преимущества

- скрытность передачи видео за счет низкой мощности между соседними узлами сети MANET
- передача потокового видео и звука в АСУ В

Беспроводная одноранговая сеть (WANET) или Мобильная одноранговая сеть (MANET) - Wireless ad hoc network



MANET не имеет точек доступа, каждый узел перенаправляет данные для других узлов динамически на основе сетевого подключения и алгоритма маршрутизации

Преимущества: нет дорогостоящей инфраструктуры, многоэлементность и масштабируемость

Диапазоны радиочастот: UHF (300–3000 МГц), SHF (3–30 ГГц)

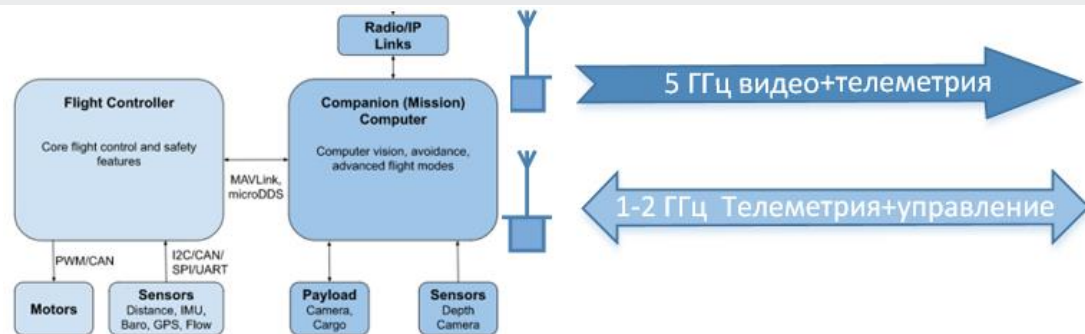
Модуляция: квадратурная амплитудная модуляция 256-QAM (1024-QAM)

Метод кодирования цифровых данных на нескольких несущих частотах - ортогональное мультиплексирование с частотным разделением (Orthogonal frequency-division multiplexing)

Перспективный стандарт: Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax), пропускная способность до 10 Гбит / с, использует каналы 8x8 MU-MIMO (Multi-User Multiple-Input Multiple-Output), режим OFDMA, ширина канала 80 (160) МГц.

Таким образом, протокол 802.11ax может формировать одноранговые сети MANET с высокой пропускной способностью

Основной недостаток: низкая скрытность, значительный служебный трафик маршрутизации



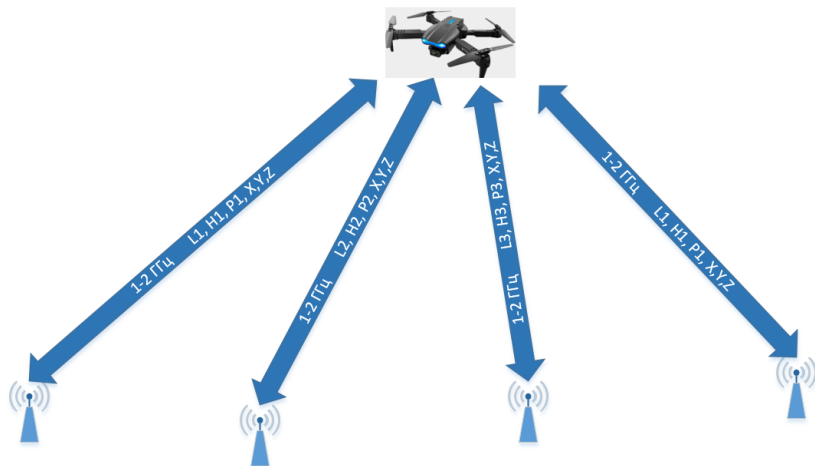
БПЛА (FPV)

Основные недостатки существующих импортных БПЛА в условиях помех:

- перехват управления (РЭБ)
- закрытые алгоритмы управления встроенного ПО

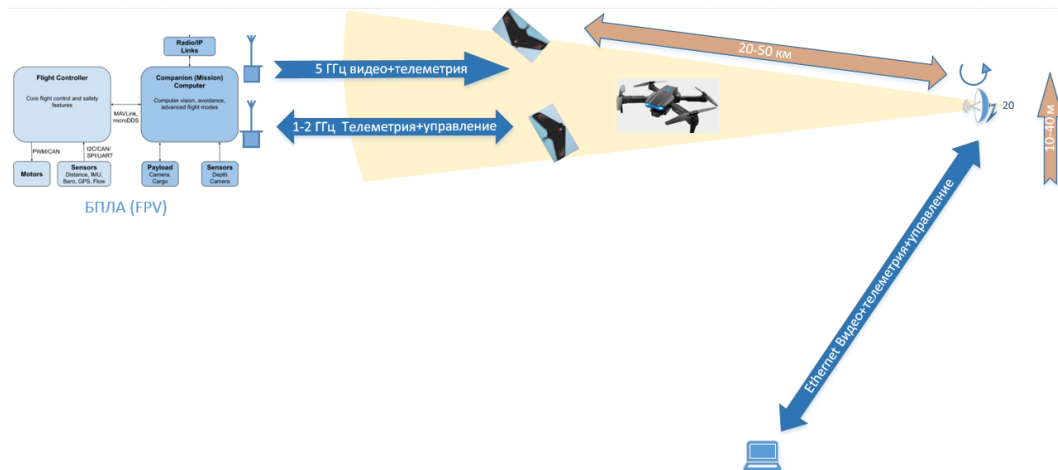
Методы снижения уязвимости в условиях маскирующих, имитационных и заградительных помех:

- адаптивное цифровое обнуление помех за счет применения антенных решеток (например, серия «Комета» обеспечивает защиту навигационных сигналов ГНСС диапазона L1 (ГЛОНАСС, GPS, Galileo, SBAS), повышает помехоустойчивость на 40-50 дБ), а также за счет поглощающих и отражающих материалов (25-40 дБ)
- работа канала передачи видео только в сторону БС
- модуляция канала управления шумоподобным сигналом (не пеленгуется)
- применение режима ППРЧ и исключение рабочих каналов из части спектра, пораженного помехой

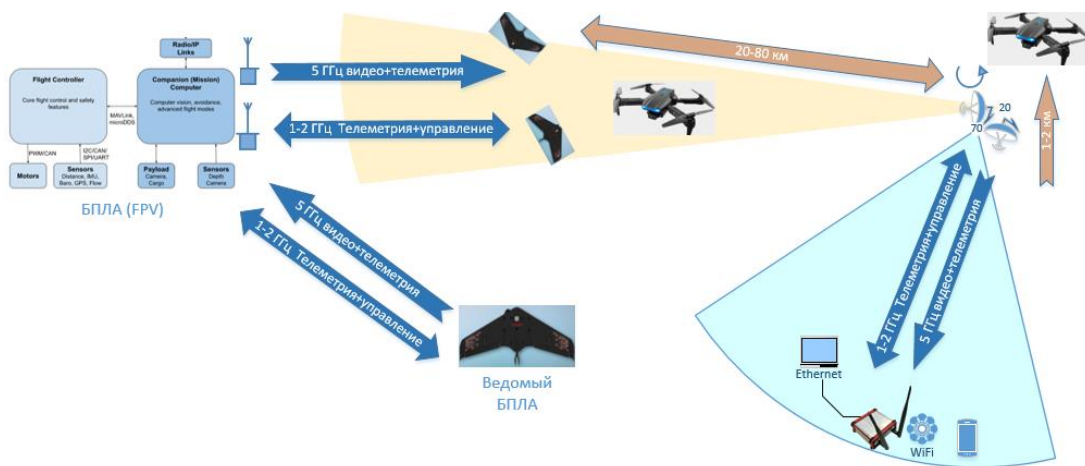


Снижение уязвимости БПЛА в условиях помех ГНСС:

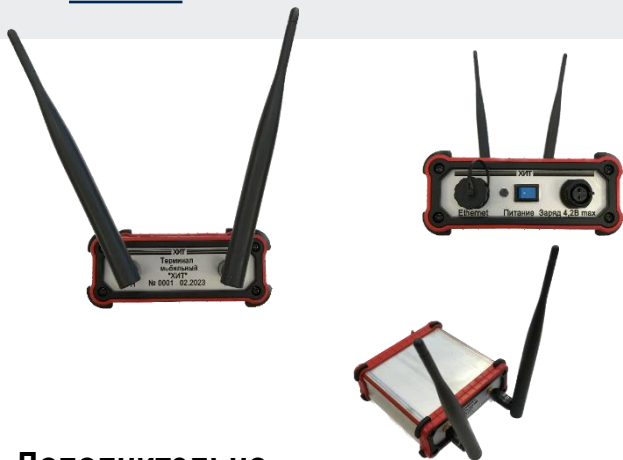
- маяки устанавливаются на своей территории
- маяки по сигналам ГНСС определяют свои координаты X, Y, Z
- встроенный датчик атмосферного давления P корректирует координату Z
- маяки находятся в режиме радиомолчания
- БПЛА периодически запрашивает и определяет дальность L до каждого маяка, а также получает их координаты и атмосферное давление P
- на основании полученных данных БПЛА определяет свои текущие координаты
- за счет модуляции шумоподобными сигналами обеспечивается максимальная скрытность местоположения маяков



- высота подъема БС над уровнем земли (мачта, здание) – 10-40 м
- удаление БПЛА от БС (мощность передатчиков 1Вт) – 20-50 км
- антенна управления (усиление 18 дБи) со следящим приводом $\pm 60^\circ$, угол раскрыва в горизонтальной плоскости (по уровню 3 дБ) - 20°
- кабель питания и управления БС – Ethernet, до 100 м
- канал передачи 5 ГГц (видео+телеметрия) работает только в сторону БС (не пеленгуется)
- канал передачи 1-2 ГГц (телеметрия+управление) работает в дуплексном режиме (модуляция шумоподобным сигналом, не пеленгуется)



- высота подъема БС над уровнем земли (квадрокоптер) – 1-2 км
- удаление БПЛА от БС (мощность передатчиков 1Вт) – 20-80 км
- антенна управления (усиление 18 дБи) со следящим приводом $\pm 60^\circ$, угол раскрыва в горизонтальной плоскости (по уровню 3 дБ) - 20°
- антенна ретранслятора (усиление 12 дБи), угол раскрыва - 70°
- канал передачи 5 ГГц (видео+телеметрия) работает только в сторону БС и приемных терминалов (не пеленгуется)
- канал передачи 1-2 ГГц (телеметрия+управление) работает в дуплексном режиме (модуляция шумоподобным сигналом, не пеленгуется)



Дополнительно

- количество одновременно принимаемых видеопотоков: до 8
- количество одновременно управляемых БПЛА: до 8
- питание: АКБ (Li-Ion, 4000 мА*ч, 3.7В), с блоком подзарядки от сети ~220В/50Гц или 12/24В бортовой сети автомобиля

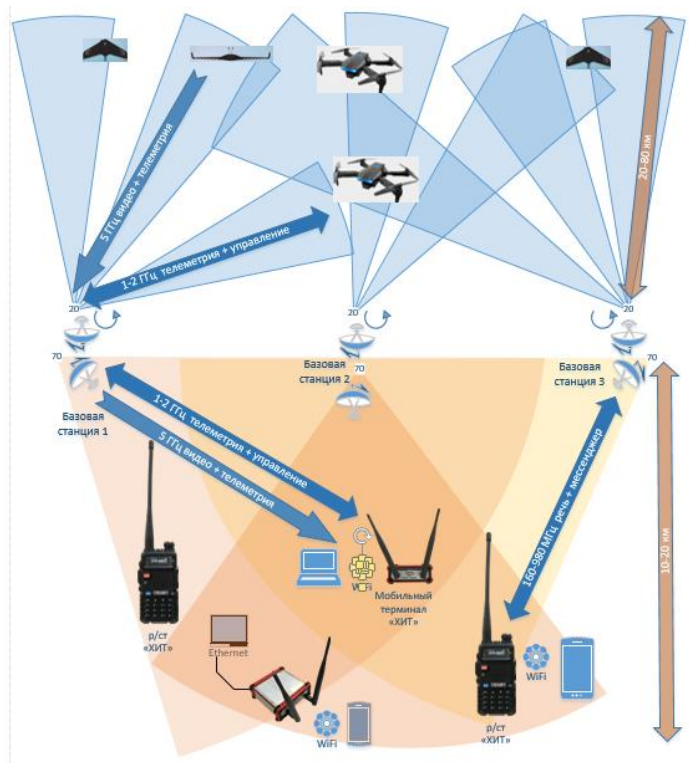
Технические характеристики

- рабочие частотные диапазоны: 2.4 ГГц, 5.8 ГГц
- мощность передатчиков: до 1 Вт
- дальность связи до базовой станции: 5-10 км
- Wi-Fi / Bluetooth / Ethernet для связи с планшетом, смартфоном

Преимущество – высокая скрытность

- канал связи с базовой станцией (БС) диапазон 5.8 ГГц работает только на прием (видео+телеметрия БПЛА)
- канал связи с БС диапазон 2.4 ГГц работает в двухстороннем режиме (речь+управление БПЛА+мессенджер), не пеленгуется за счет модуляции шумоподобным сигналом
- подключение к ноутбуку (планшету, смартфону) по Ethernet или Wi-Fi (встроенная точка доступа) через веб-интерфейс
- скрытность радиопереговоров за счет кодирования речевого сигнала
- работа в условиях поражения части спектра заградительными помехами
- защищенный мессенджер для координации действий подразделений

Радиосеть передачи данных, речи, видео, управления БПЛА, защищенный мессенджер команд



- ширина обзора по фронту – 10 км
- глубина зоны покрытия – до 20 км
- удаление БПЛА от БС (мощность передатчиков до 1Вт) – 20-80 км
- канал передачи 5 ГГц (видео+телеметрия) работает только в сторону БС и мобильных терминалов системы (не пеленгуется)
- канал передачи 1-2 ГГц (телеметрия+управление+речь+мессенджер) работает в двухстороннем режиме (модуляция шумоподобным сигналом, не пеленгуется)
- канал передачи 160-1000 МГц (речь+мессенджер) работает в двухстороннем режиме (модуляция шумоподобным сигналом, не пеленгуется)

| Схемы модуляции и кодирования для одного пространственного потока | | | | | | | | | | |
|---|---------------|------------------|--|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|----------------|-----------|
| MCS индекс | тип модуляции | темп кодирования | Скорость передачи данных (в Мбит/с) ^[9] | | | | | | | |
| | | | Каналы 20 МГц | | Каналы 40 МГц | | Каналы 80 МГц | | Каналы 160 МГц | |
| | | | 1600 нс GI ^[10] | 800 нс GI | 1600 нс GI | 800 нс GI | 1600 нс GI | 800 нс GI | 1600 нс GI | 800 нс GI |
| 0 | BPSK | 1/2 | 4 (?) | 8,6 | 8 (?) | 17,2 | 17 (?) | 36 | 34 (?) | 36 (?) |
| 1 | QPSK | 1/2 | 16 | 17 | 33 | 34 | 68 | 72 | 136 | 144 |
| 2 | QPSK | 3/4 | 24 | 26 | 49 | 52 | 102 | 108 | 204 | 216 |
| 3 | 16-QAM | 1/2 | 33 | 34 | 65 | 69 | 136 | 144 | 272 | 282 |
| 4 | 16-QAM | 3/4 | 49 | 52 | 98 | 103 | 204 | 216 | 408 | 432 |
| 5 | 64-QAM | 2/3 | 65 | 69 | 130 | 138 | 272 | 288 | 544 | 576 |
| 6 | 64-QAM | 3/4 | 73 | 77 | 146 | 155 | 306 | 324 | 613 | 649 |
| 7 | 64-QAM | 5/6 | 81 | 86 | 163 | 172 | 340 | 360 | 681 | 721 |
| 8 | 256-QAM | 3/4 | 98 | 103 | 195 | 207 | 408 | 432 | +817 | +865 |
| 9 ^[11] | 256-QAM | 5/6 | 108 | 115 | 217 | 229 | 453 | 480 | 907 | +961 |
| 10 | 1024-QAM | 3/4 | 122 | 129 | 244 | 258 | 510 | 540 | 1021 | 1081 |
| 11 | 1024-QAM | 5/6 | 135 | 143 | 271 | 287 | 567 | 600 | 1134 | 1201 |

Стандарты беспроводных локальных сетей Wi-Fi 5 (**IEEE 802.11ac**) и пришедший ему на смену Wi-Fi 6 (**IEEE 802.11ax**) помимо улучшения спектральной эффективности обеспечивают гигантскую пропускную способность до 10 Гбит / с

Основные недостатки:

- это не наш стандарт и не наши чипы
- частотные каналы жестко вшиты в чипы
- нет отечественной микроэлектроники

Выход:

- разработать свои стандарты на основе режима ортогонального частотного мультиплексирования (OFDMA) и новых или модернизированных типов модуляций, используя методы прямого цифрового синтеза, т.н. программно-определяемая радиосистема (*Software-defined radio, SDR*)
- использовать расширенные частотные диапазоны с целью борьбы с РЭБ и пеленгацией
- при этом возможно использование импортных модуляторов-демодуляторов (*front-end*), без рисков программно-аппаратных закладок, например, AD9363, или ускоренного создания своих аналогов
- вся логика обработки сигналов будет реализована на своих микропроцессорах или ПЛИС



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ