



Методы улучшения качества связи в БАС в сложной электромагнитной обстановке за счет применения широкополосных и многодиапазонных антенн

Докладчик: Шишкин Михаил Сергеевич

Начальник бюро РТС, АО «ЭЙРБУРГ»

Аспирант, ИРИТ-РТФ УрФУ им. Б.Н. Ельцина

Направление исследований: 2.2.14 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Тема исследования:

- ✓ Методы расширения рабочих диапазонов частот печатных и микрополосковых антенн на основе оптимальных комбинаций многорезонансных структур

Предмет исследования:

- ✓ Антенные технологии

Объект исследования:

- ✓ Печатные и микрополосковые антенны

Цели исследования:

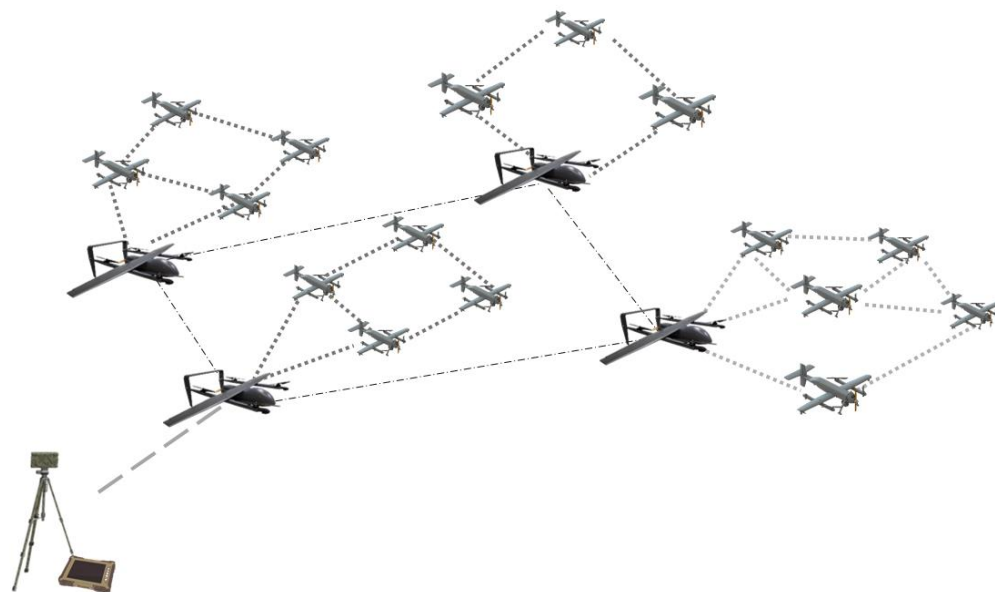
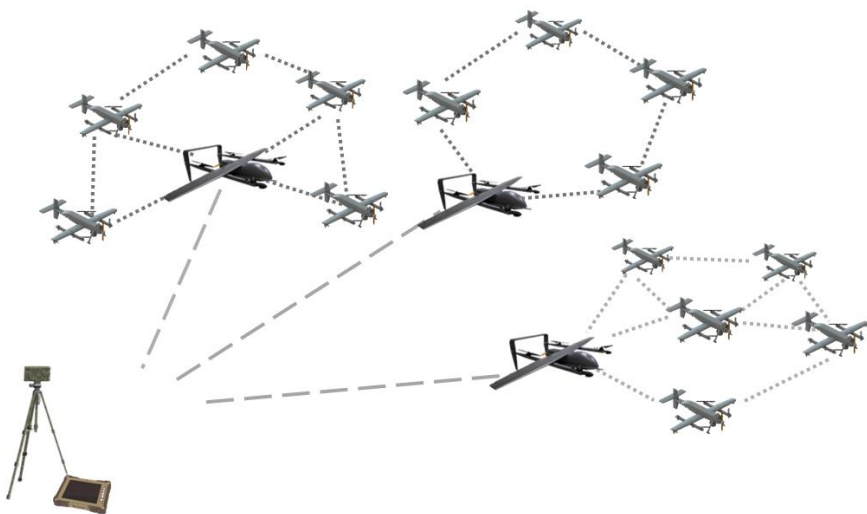
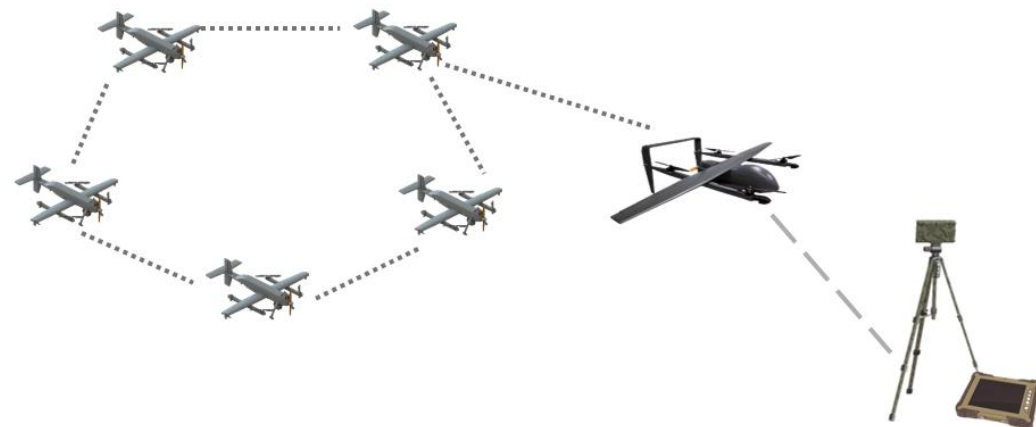
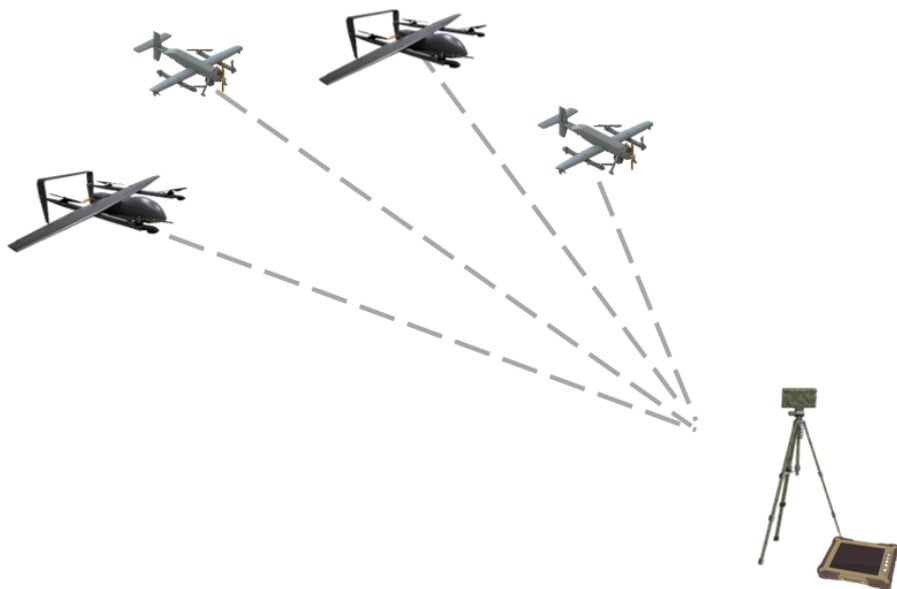
- ✓ Исследование и разработка методов расширения рабочих диапазонов частот печатных и микрополосковых антенн

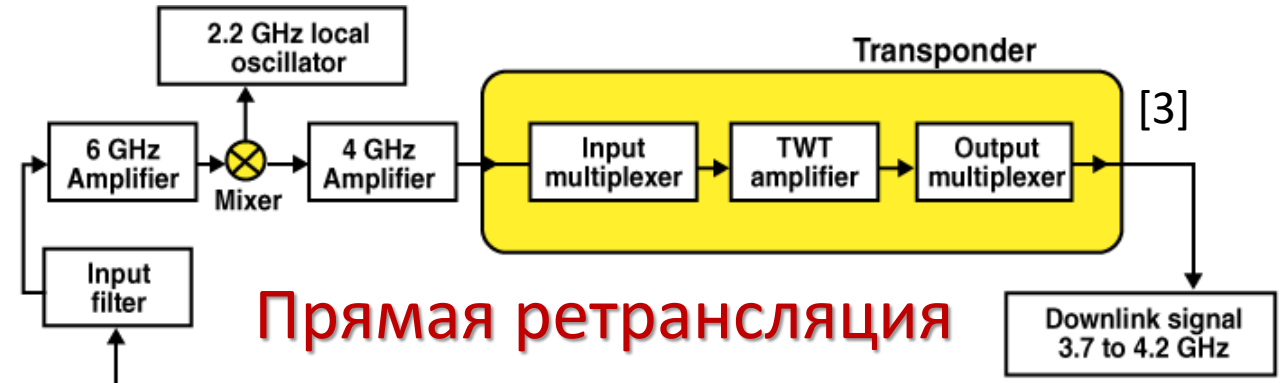
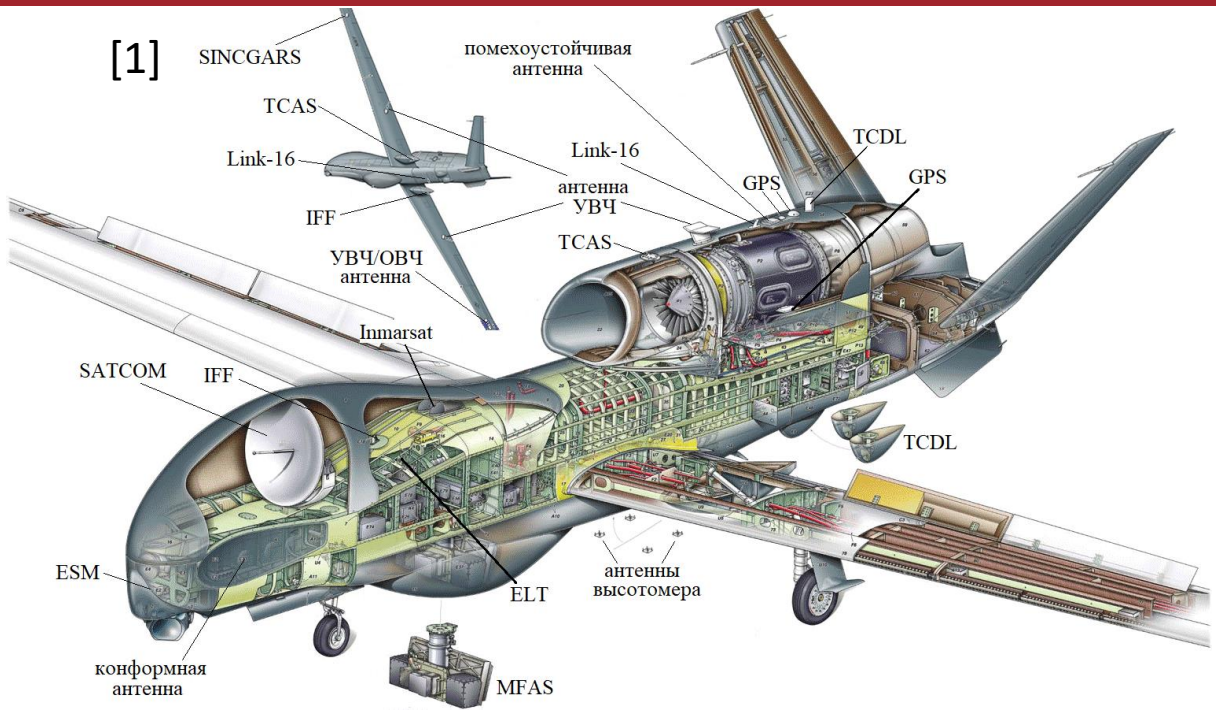
Задачи исследования:

- ✓ Исследование существующих методов расширения рабочих диапазонов частот печатных и микрополосковых антенн
- ✓ Разработка конструкций ШП (СШП) печатных и микрополосковых антенн, исследование их характеристик
- ✓ Разработка методик проектирования печатных и микрополосковых антенн с расширенным рабочим диапазоном частот

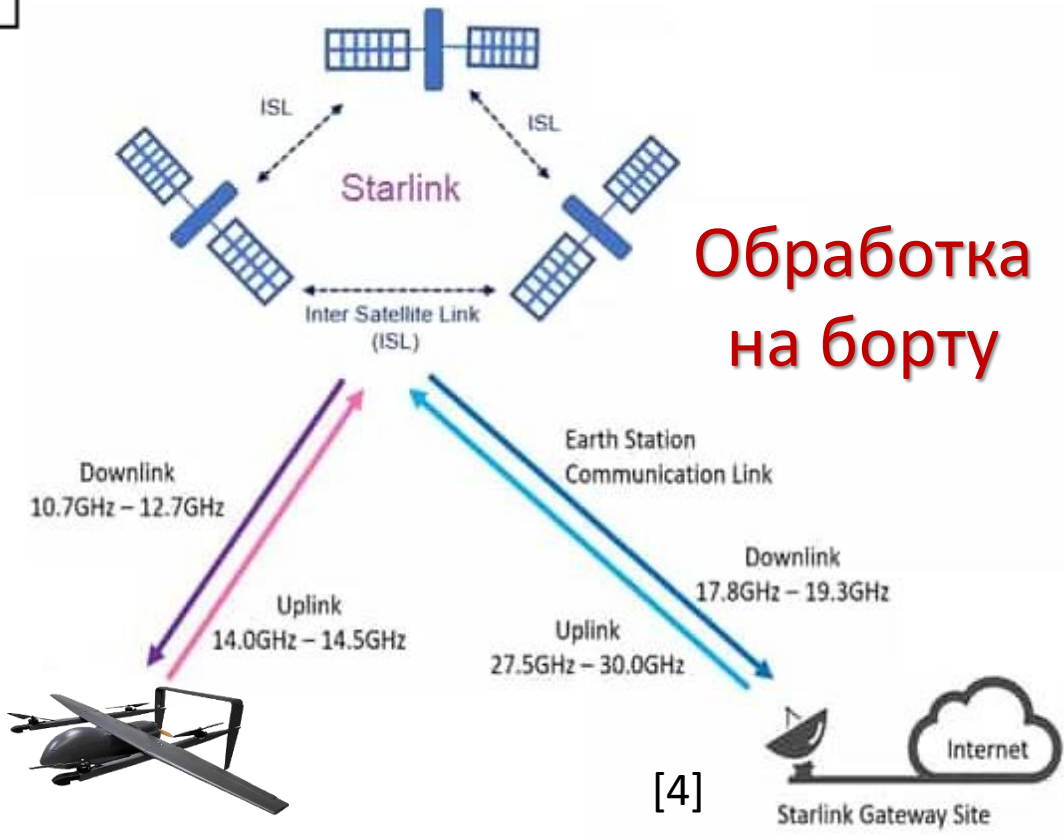
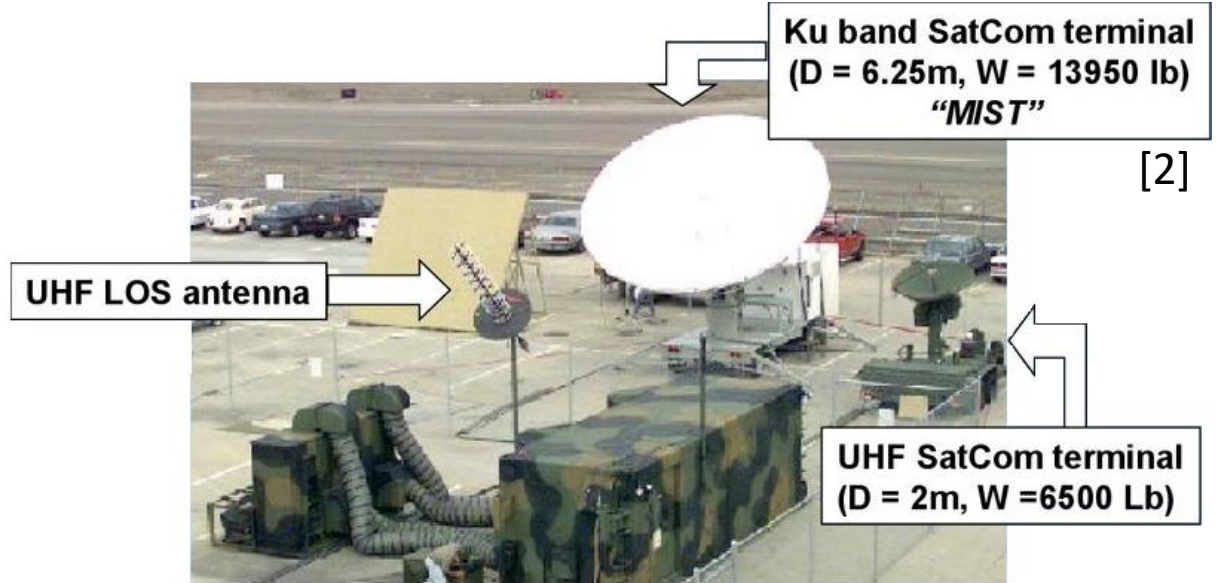
Широкополосные системы:

- ✓ Мобильная связь
 - 890–960 МГц (8%) / 1885–2200 МГц (7%)
 - 3300–3800 МГц (14%) / 5160–5825 МГц (12%)
 - 800 – 6000 МГц (153%)
- ✓ Спутниковая связь
 - 3700–4200 МГц (13%) / 5900–6400 МГц (8%)
 - 1530–2700 МГц (55%) / 2700–3500 МГц (26%)
 - 10,7–12,7 ГГц (17%) / 13,85–14,5 ГГц (5%)
- ✓ Связь в авиационных системах (в т.ч. БАС)
 - 960–1164 МГц (19%) / 969–1215 МГц (22.5%)
 - 1625–1850 МГц (13%) / 2200–2500 МГц (13%)
 - 225–450 МГц (67%)
 - 1350–1850 МГц (31%)
- ✓ Радионавигационные приемники
- ✓ Радиолокационные станции (в т.ч. бортовые)
- ✓ Радиорелейные станции (в т.ч. радиомосты)
- ✓ Системы радиомониторинга и радиоподавления

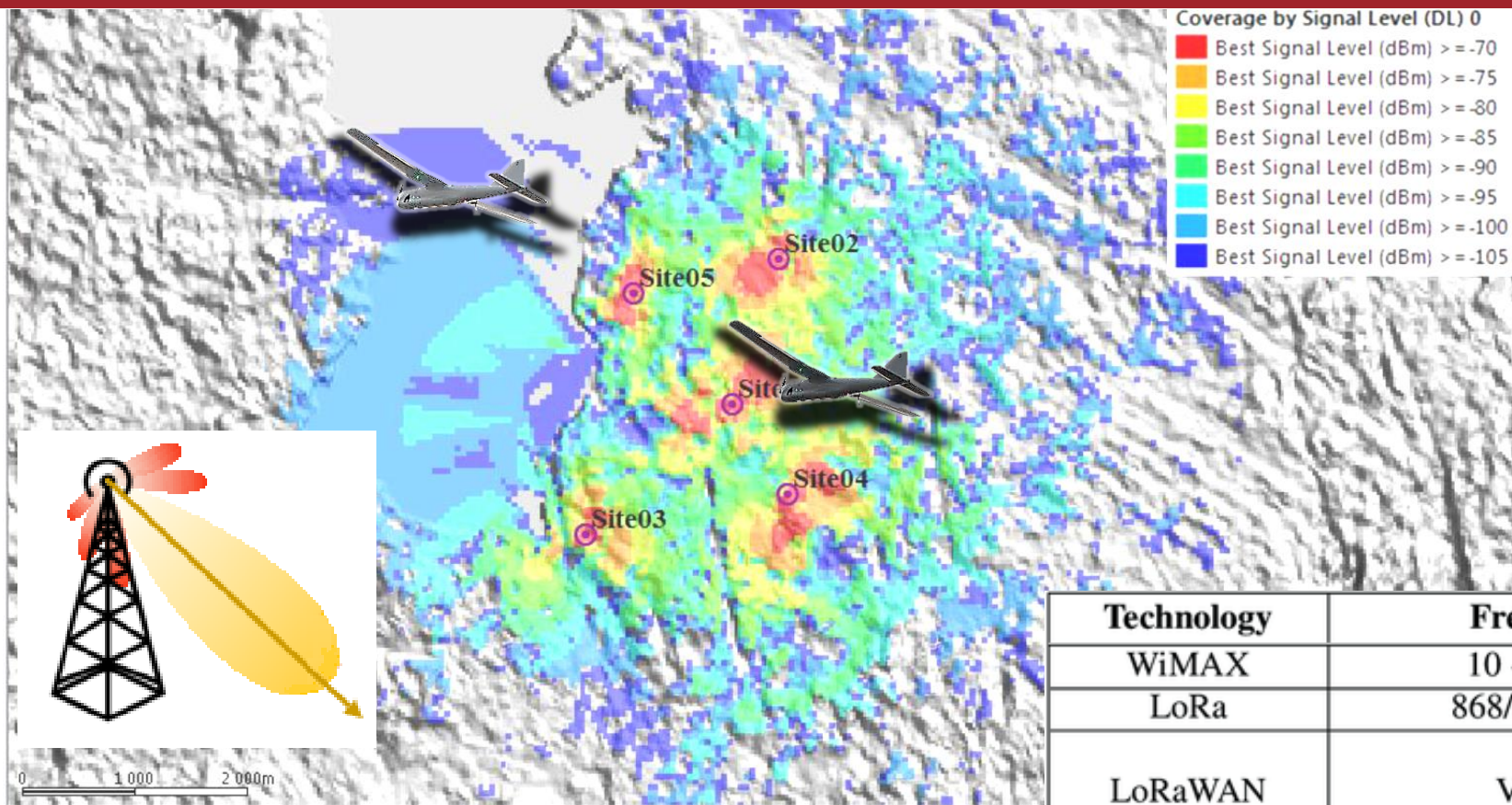




Прямая ретрансляция



Обработка на борту

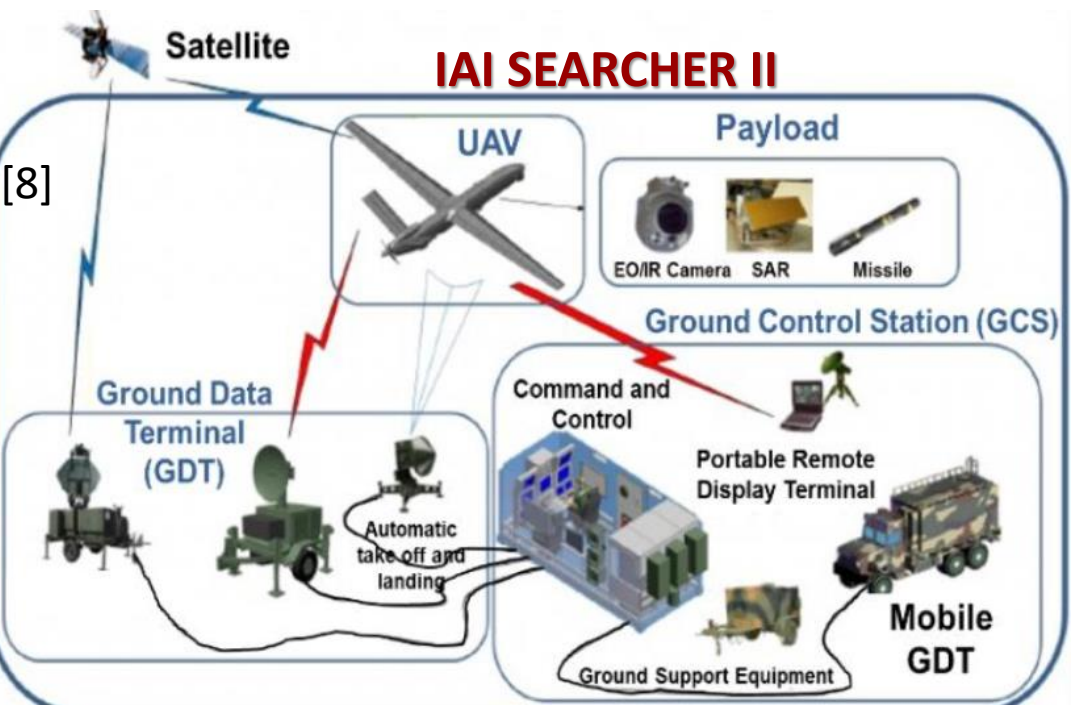
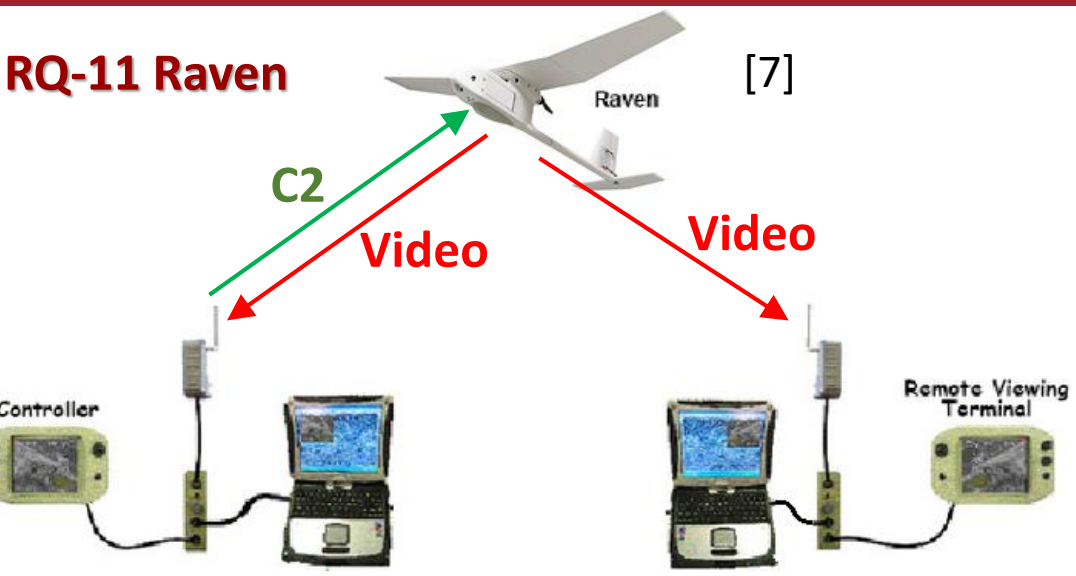


Technology	Frequency	Data Rate	Range
WiMAX	10 - 66GHz	11-100Mbps	50km
LoRa	868/915 MHz	50 kbps	25Km
LoRaWAN	Various	0.3-50 kbps	2-5 km (Urban) 15 km (Sub urban) 45 km (rural)
Sigfox	868/915MHz	300bps	50Km
4G	800, 1800, 2600MHz	12Mbps	10Km
5G	Lower Bands	3.6Gbps	10Km
5G	Higher Bands	10Gbps	<1Km
NB-IoT (NB1)	900MHz	250kbps	35km
EC-GSM	900MHz	140kbps	100Km
LTE-M (M1)	700, 1450 - 2200, 5400MHz	0.144Mbps	35km

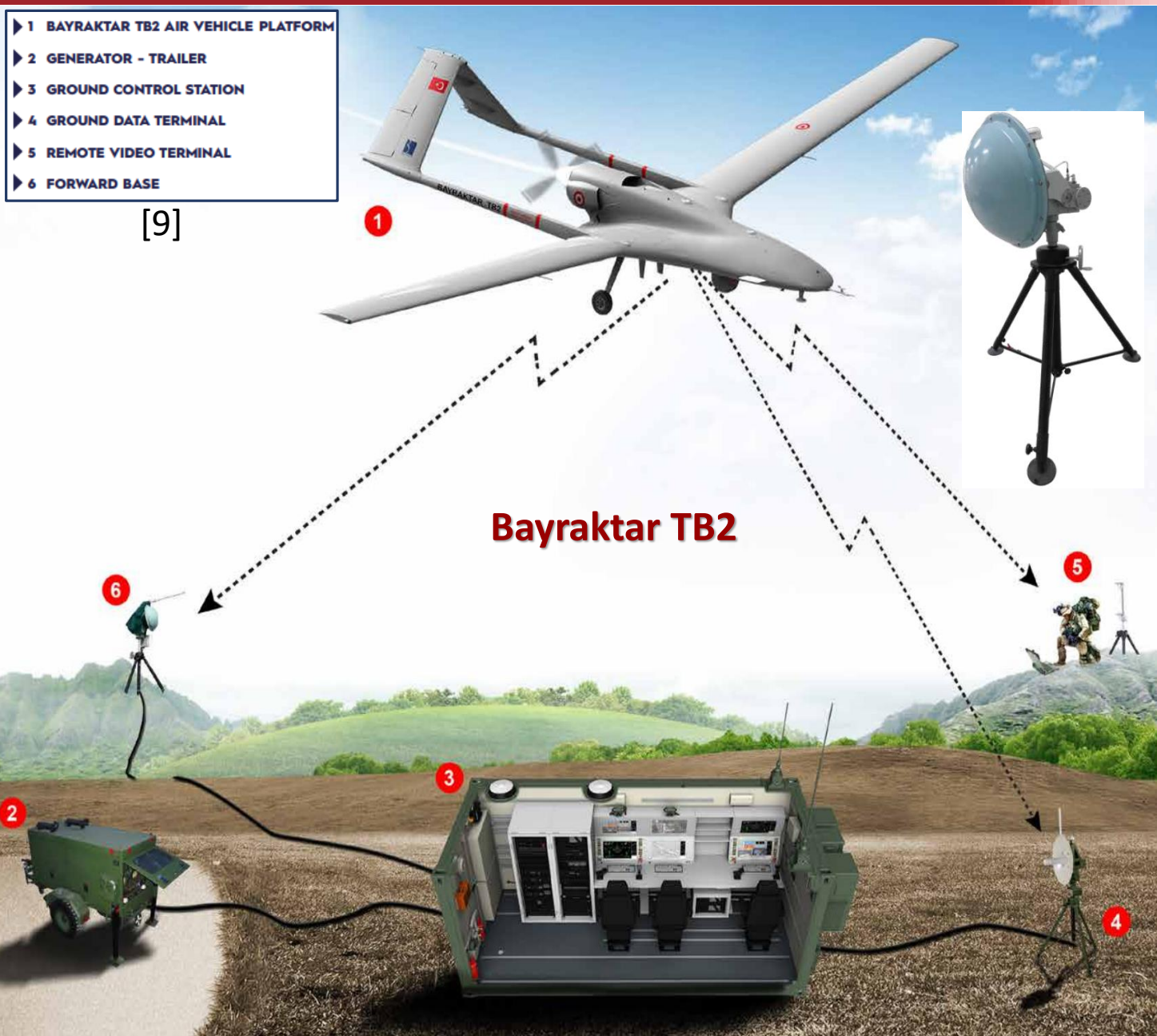


[5]

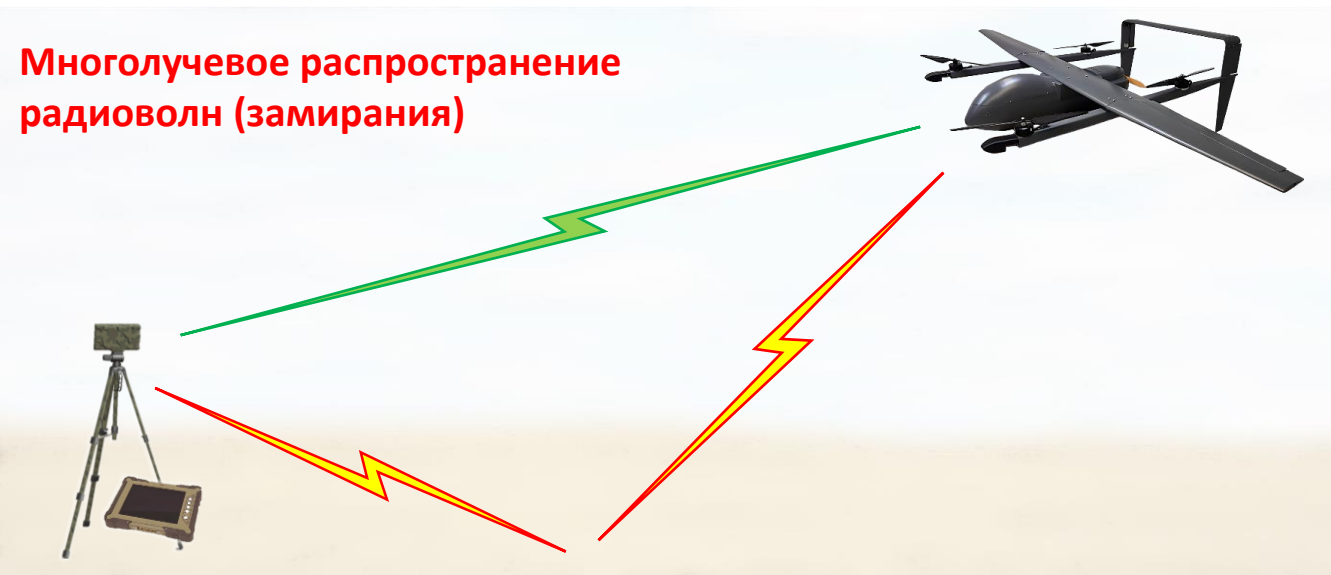
RQ-11 Raven



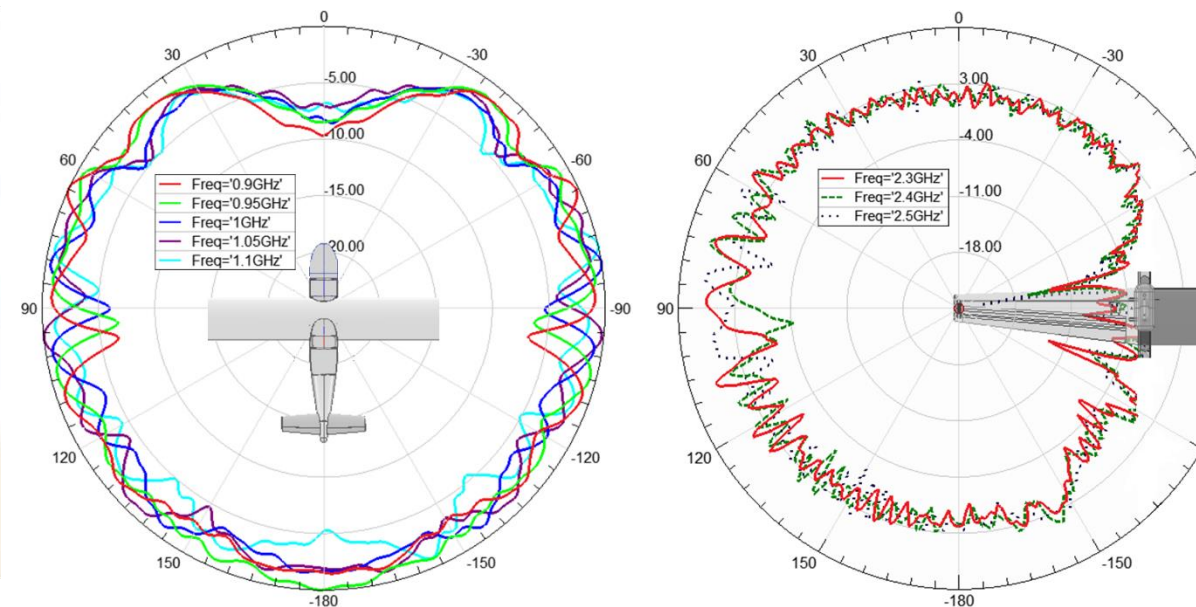
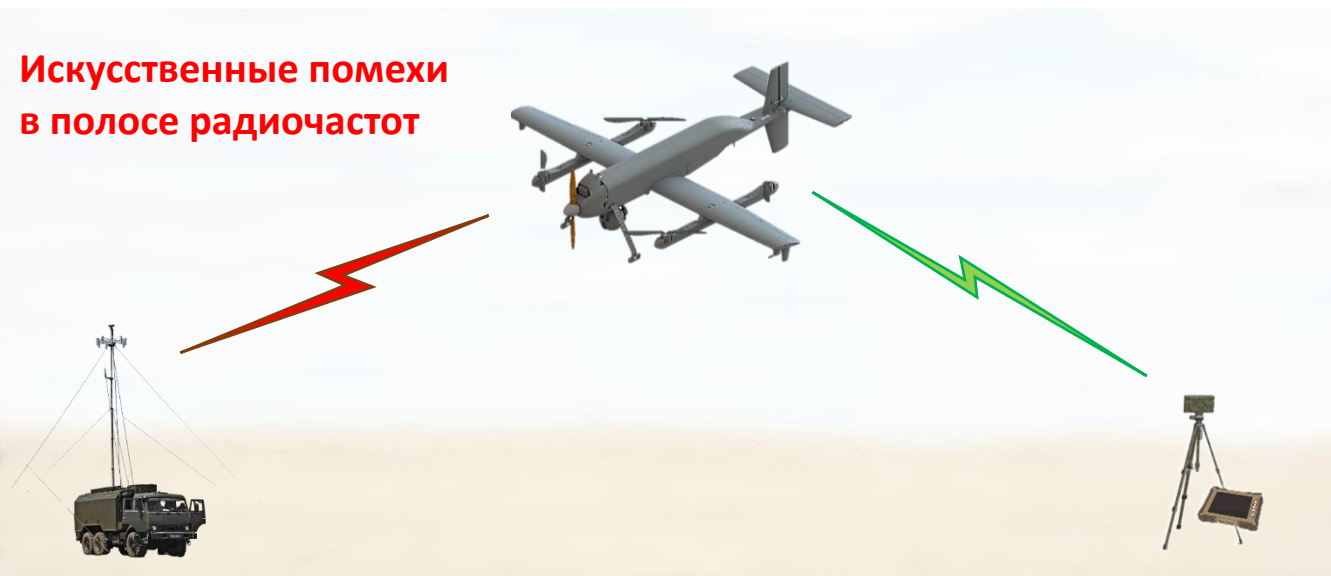
- 1 BAYRAKTAR TB2 AIR VEHICLE PLATFORM
 - 2 GENERATOR - TRAILER
 - 3 GROUND CONTROL STATION
 - 4 GROUND DATA TERMINAL
 - 5 REMOTE VIDEO TERMINAL
 - 6 FORWARD BASE
- [9]



Многолучевое распространение радиоволн (замирания)

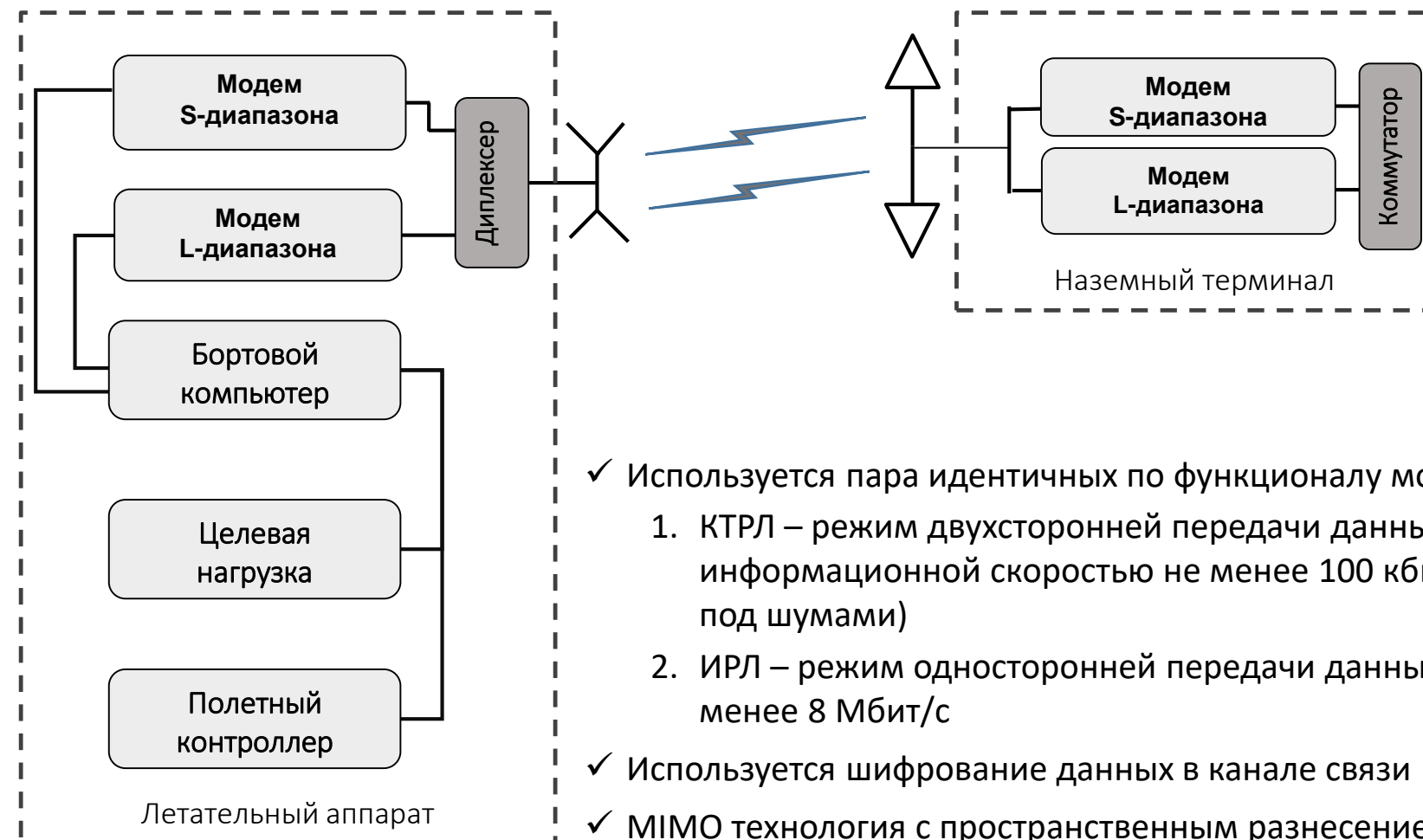


Искусственные помехи в полосе радиочастот



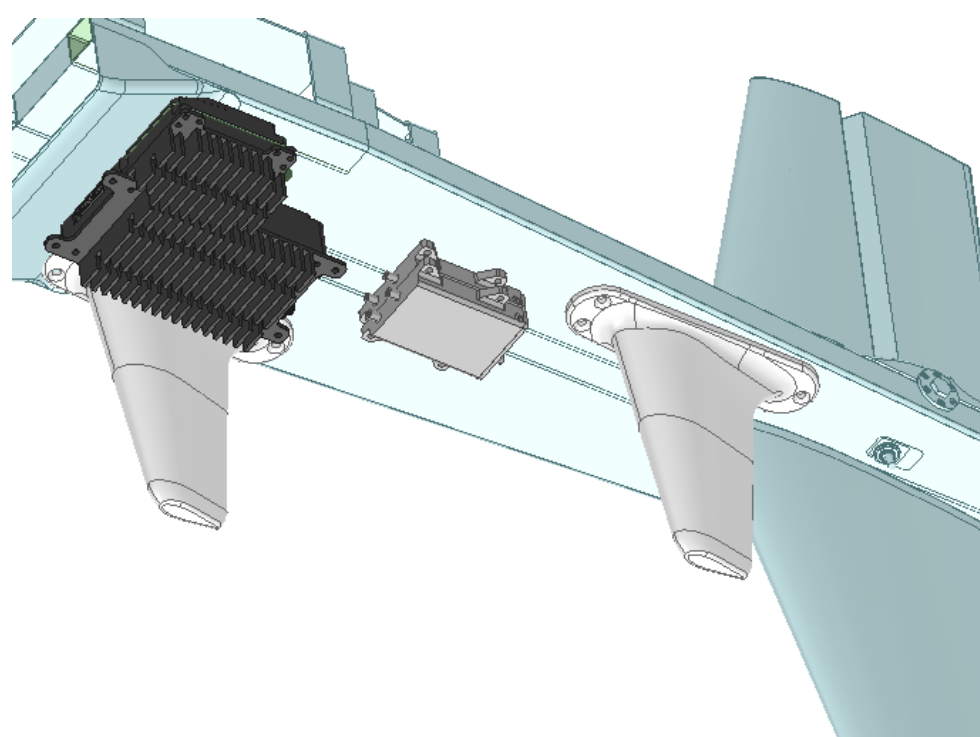
Влияние частот БПЛА на диаграмму направленности бортовой антенны

- ✓ Использование широкополосных сигналов, методов ППРЧ, OFDM
- ✓ Работа в нескольких частотных каналах связи
- ✓ Резервирование каналов связи в разных диапазонах радиочастот



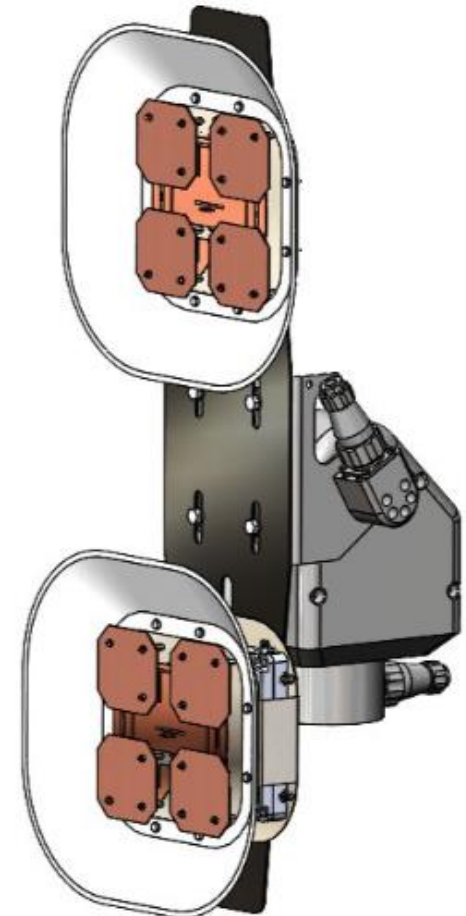
Используется бортовой компьютер, управляя модемами связи, определяется электромагнитная обстановка, уровни шумов и качество работы каналов связи в двух широких диапазонах радиочастот. В зависимости от условий работы модемов переключаются режимы их работы и рабочие частоты в двух широких полосах (по 500 МГц) в двух разных диапазонах – L и S, используя комбинацию из 14 каналов на нестандартных частотах.

- ✓ Используется пара идентичных по функционалу модемов в двух режимах:
 1. КТРЛ – режим двухсторонней передачи данных с расширением спектра с базой до 40 с информационной скоростью не менее 100 кбит/с с высокой помехозащитой (до минус 17 дБ под шумами)
 2. ИРЛ – режим односторонней передачи данных (симплекс) с информационной скоростью не менее 8 Мбит/с
- ✓ Используется шифрование данных в канале связи
- ✓ MIMO технология с пространственным разнесением бортовых и наземных антенн
- ✓ Автоматическое наведение наземной антенной системы на борт
- ✓ Удобный наземный терминал с высокими требованиями к механическим воздействиям
- ✓ Возможность ретрансляции других типов радиосигналов (например FPV-дронов) через каналы адаптивной системы связи.



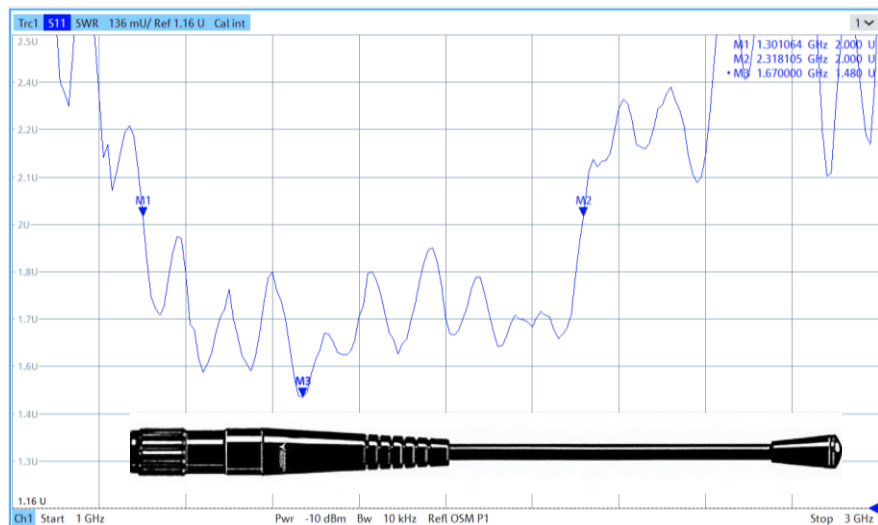
- ✓ Использование бортовых СШП антенн в режиме MIMO, работающих в диапазоне частот от 850 МГц до 4 ГГц, имеющих малые размеры и вес, за счет чего упрощение эксплуатации комплекса (не требуется замена антенн при изменении модемов связи или их частотных диапазонов), улучшение устойчивости в условиях помех за счет возможности изменения частотных каналов в полете в широком диапазоне частот.
- ✓ Использование СВЧ мультиплексоров с малыми потерями с высокой развязкой между частотными каналами, за счет чего обеспечение высокого качества связи в необходимых полосах частот.

- ✓ Уменьшение массы и габаритов наземного терминала связи за счет использования двухдиапазонной антенной MIMO системы с регулировкой расстояния между антенными элементами, что позволяет адаптировать систему под условия распространения радиоволн в зависимости от рабочих диапазонов.
- ✓ Работа наземной антенной системы в L-диапазоне в полосе 500 МГц с КУ 10–11 дБи и одновременно в S-диапазоне в полосе 500 МГц с КУ 14–16 дБи.

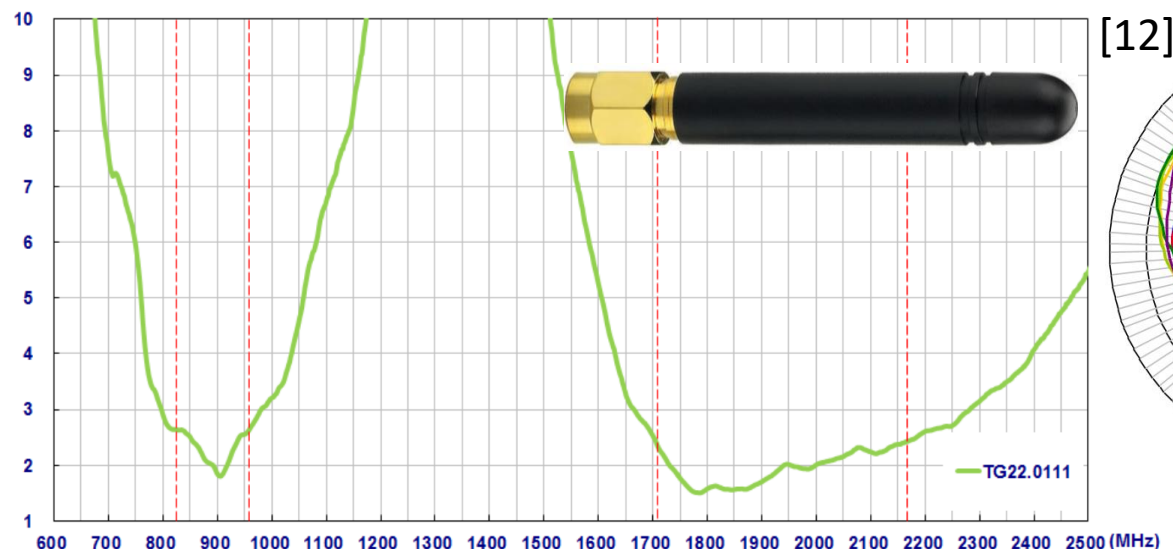




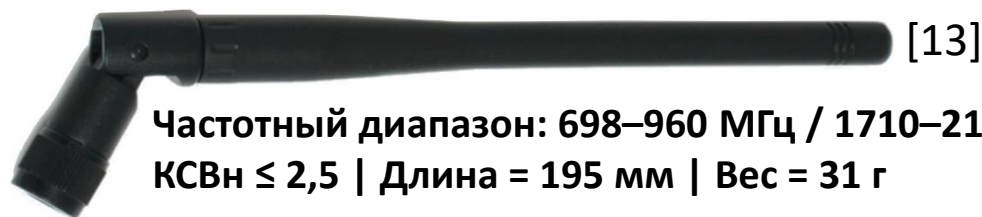
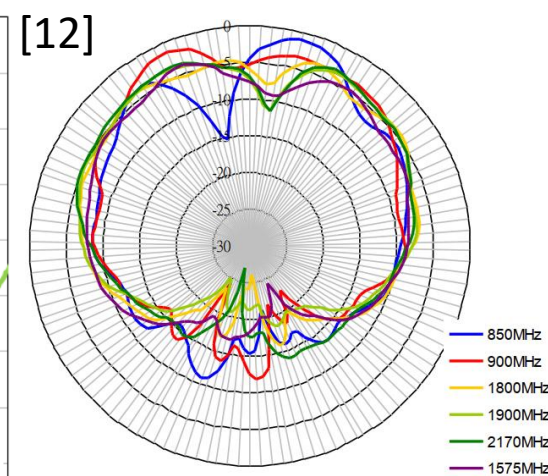
Частотный диапазон: 2100–2400 МГц [11]
КСВн ≤ 2,2 | Длина = 65 мм | Вес = 10 г



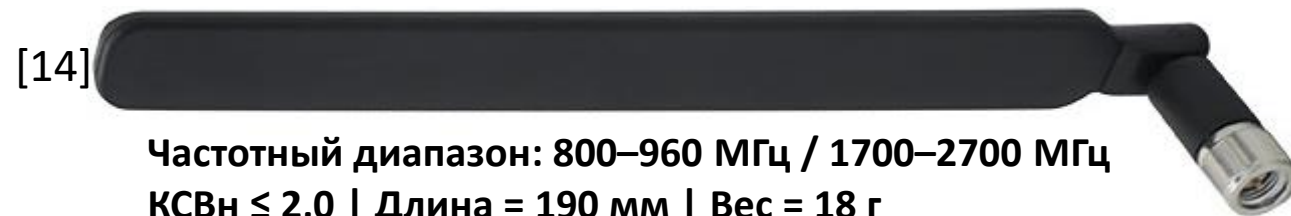
Частотный диапазон: 2300–2500 МГц [10]
КСВн ≤ 1,5 | Длина = 85 мм | Вес = 22 г



Диапазон: 824–960 МГц / 1710–2170 МГц | КСВн ≤ 3,5 | Длина = 49 мм | Вес = 6 г



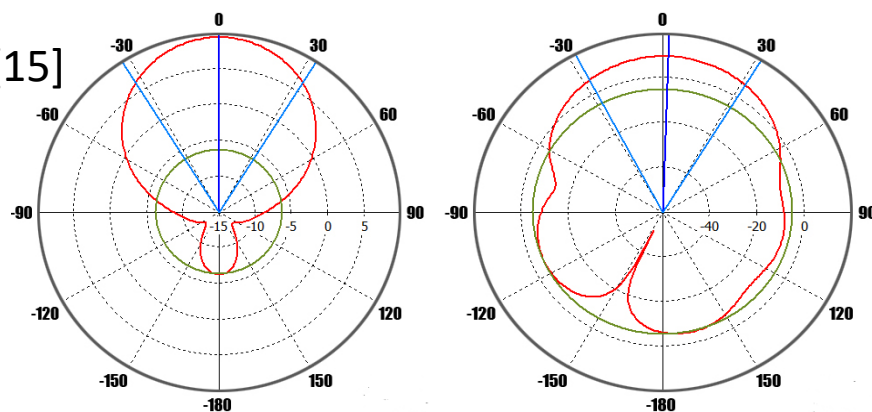
Частотный диапазон: 698–960 МГц / 1710–2170 МГц / 2500–2700 МГц
КСВн ≤ 2,5 | Длина = 195 мм | Вес = 31 г



Частотный диапазон: 800–960 МГц / 1700–2700 МГц
КСВн ≤ 2,0 | Длина = 190 мм | Вес = 18 г



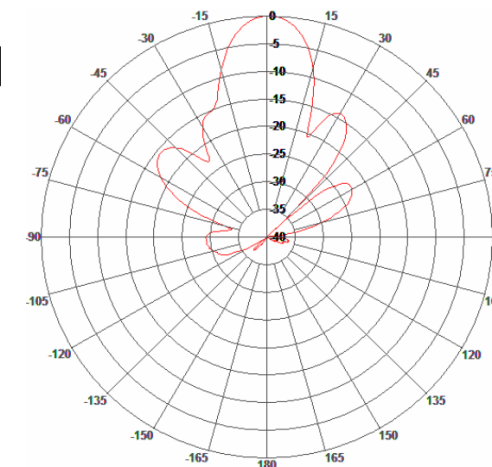
[15]



Диапазон: 790–960 МГц | КСВн $\leq 2,0$ | КУ = 9,3 дБи
Размер: 250×250×100 мм | Вес = 1400 г



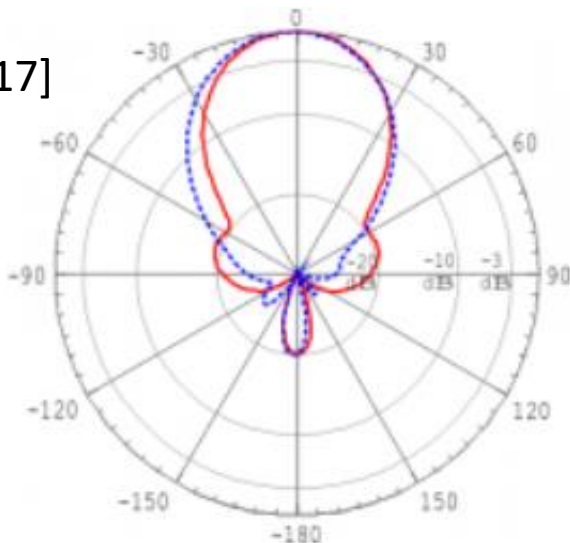
[16]



Диапазон: 2300–2700 МГц | КСВн $\leq 2,0$ | КУ = 19 дБи
Размер: 370×370×40 мм | Вес = 2000 г



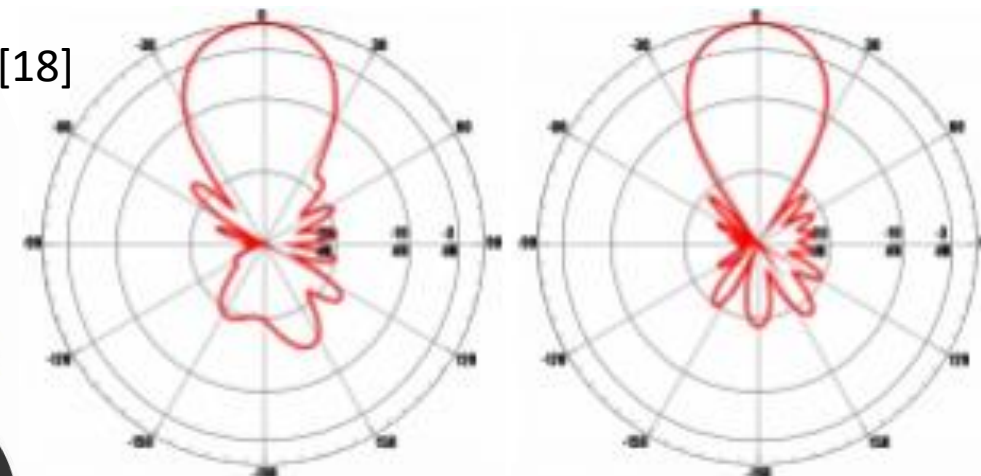
[17]



Диапазон: 1700–2180 МГц | КСВн $\leq 2,0$ | КУ: 13–15 дБи
Размер: 240×240×40 мм | Вес = 1080 г

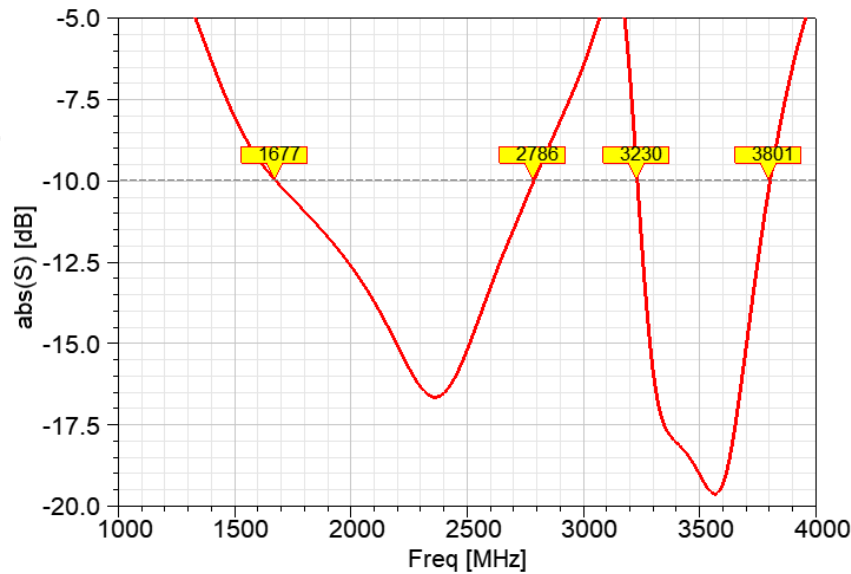
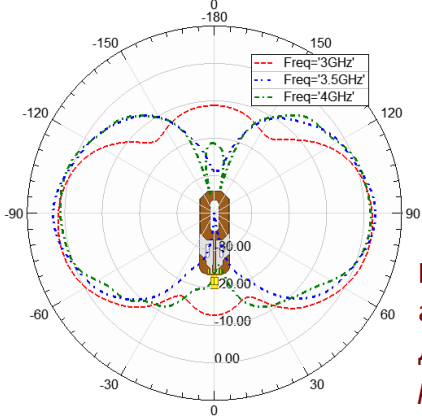
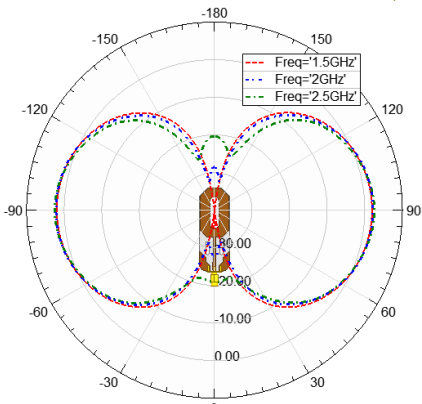
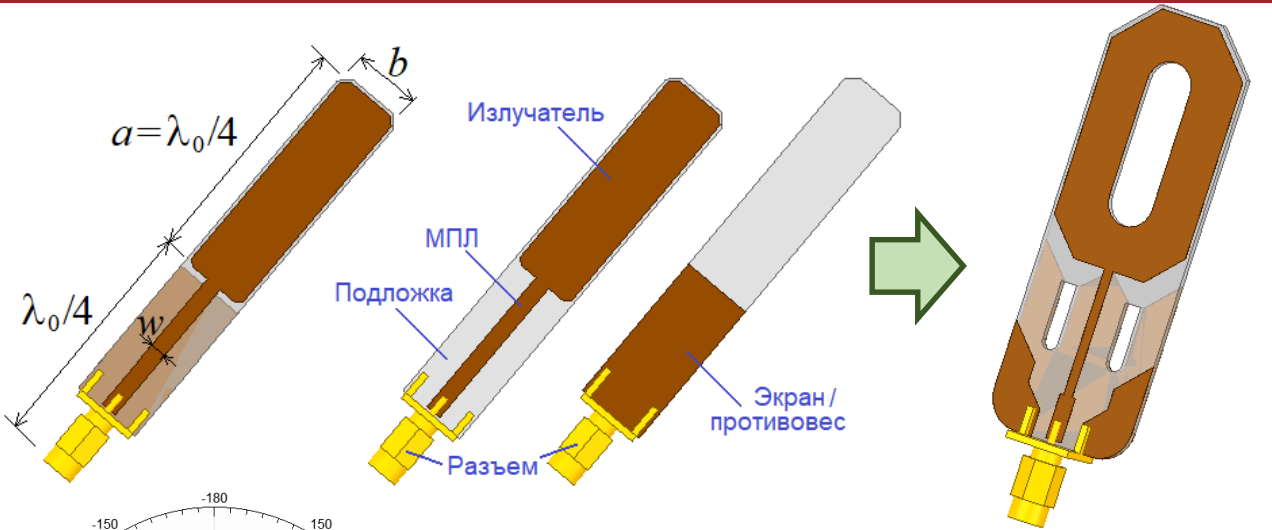


[18]

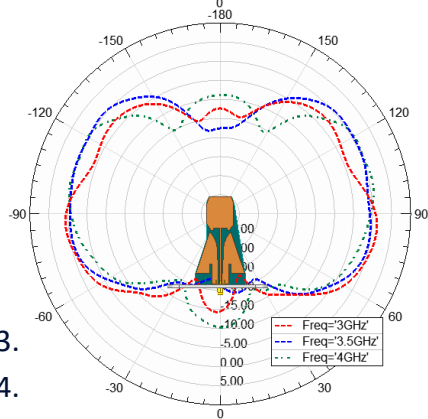
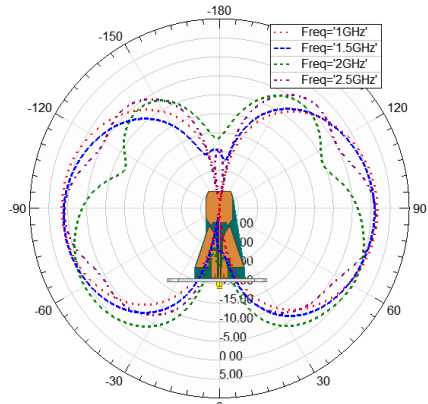
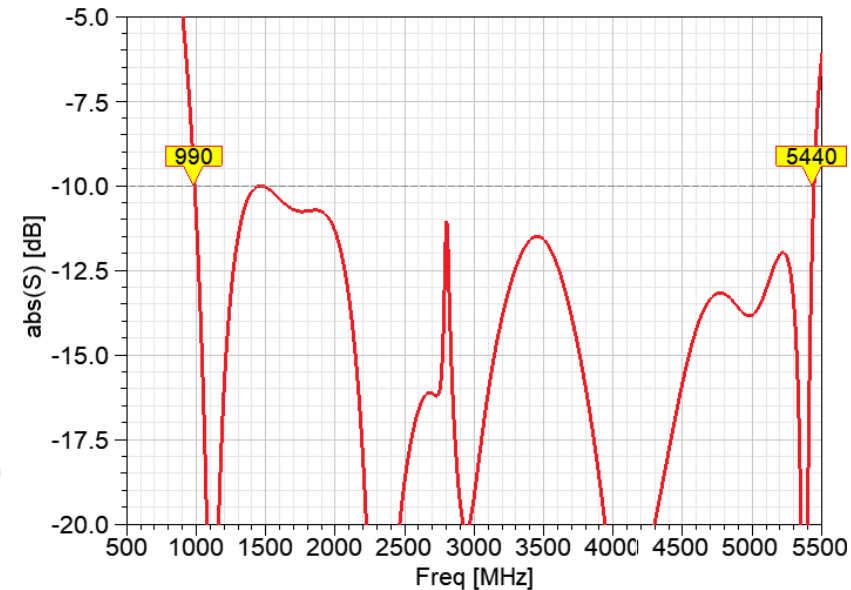
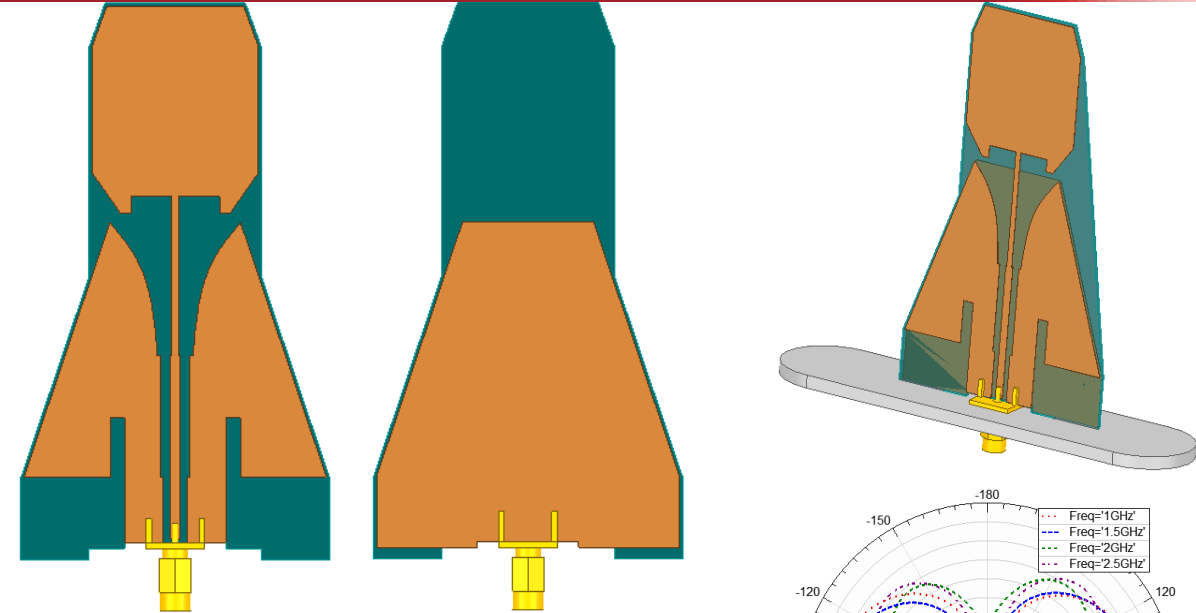


Диапазон: 1700–1880 МГц | КСВн $\leq 2,0$ | КУ = 14 дБи
Размер: 57×8×6 мм | Вес = 420 г

Исследования всенаправленных печатных антенн

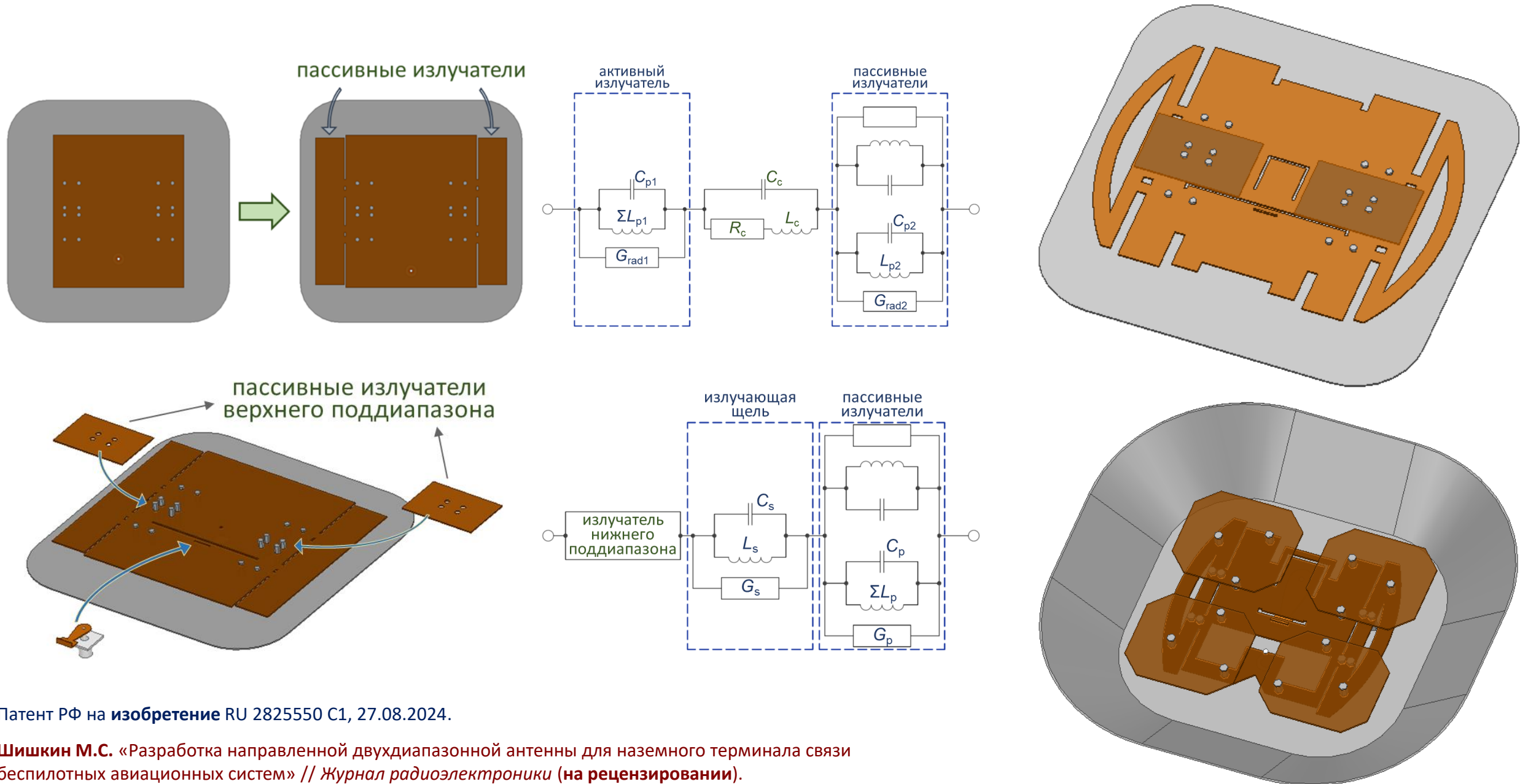


Шихин М.С. «Разработка компактной широкополосной антенны со стабильной формой диаграммы направленности для применения в составе малоразмерных БПЛА» // Журнал радиоэлектроники. 2024. – №. 12.



1. Патент РФ на **полезную модель** RU 219304 U1, 11.07.2023.
2. Патент РФ на **полезную модель** RU 226519 U1, 06.06.2024.

Исследования направленных печатных антенн



АНТЕННА ДВУХДИАПАЗОННАЯ КОМПАКТНАЯ

Назначение:
Антенна предназначена для приема и передачи радиосигналов системы беспроводной связи. Устанавливается на борт летательного аппарата или на наземную станцию. Благодаря уникальной форме, имеет возможность применения без обтекателя.

Технические характеристики:	
ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
Диапазоны рабочих частот, МГц	1603–2792 и 3204–3802
Уровень КСВн в рабочей полосе частот, не более	2
Номинальное сопротивление входа, Ом	50
Коэффициент усиления, дБи, не менее	2
Поляризация поля	линейная, вертикальная
Вид диаграммы направленности	тороидальная
Коэффициент кроссполяризационной развязки, дБ	не менее 20
Входной разъем	SMA (male)
Габаритные размеры платы без обтекателя, мм, (ДхШхВ)	63×22,5×1
Масса без обтекателя, г, не более	8



77 | Радиотехнические устройства

Помимо использования без обтекателя, возможны два исполнения в конусообразном, либо килеобразном обтекателях в зависимости от назначения антенны. Такие конструкции соответствуют по стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействующим факторам.

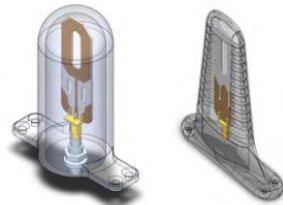


Диаграмма направленности на частоте 2000 МГц

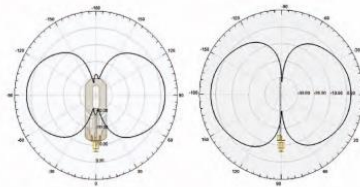
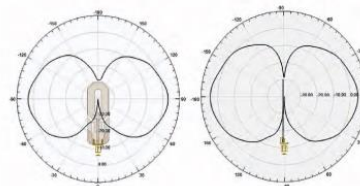


Диаграмма направленности на частоте 3500 МГц



Радиотехнические системы | 78

АНТЕННА МНОГОДИАПАЗОННАЯ ВСЕНАПРАВЛЕННАЯ

Назначение:
Для приема и передачи радиосигналов системы беспроводной связи.

Устанавливается на борт летательного аппарата или на наземную станцию в зависимости от исполнения. Благодаря уникальной конструкции, может устанавливаться на любой носитель и имеет три рабочих диапазона частот.

Возможны два варианта исполнения: в конусообразном, либо килеобразном обтекателях – для наземных или бортовых систем. Конструкция соответствует высоким требованиям по стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействующим факторам.

Технические характеристики:

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
Диапазон рабочих частот, МГц	850–1426, 2220–2755 и 2976–3897, до 5 ГГц
Уровень КСВн в рабочей полосе частот, не более	2
Номинальное сопротивление входа, Ом	50
Коэффициент усиления, дБи, не менее	2
Поляризация поля	линейная, вертикальная
Вид диаграммы направленности	тороидальная
Входной разъем	SMA (female)
Габаритные размеры, мм, (ДхШхВ)	92×51×25
Масса без обтекателя, г, не более	16

81 | Радиотехнические устройства

Диаграмма направленности на частоте 1000 МГц

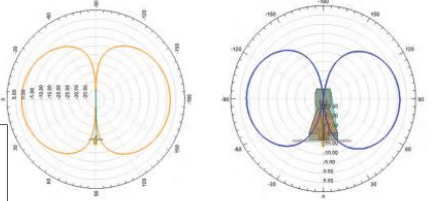


Диаграмма направленности на частоте 2500 МГц

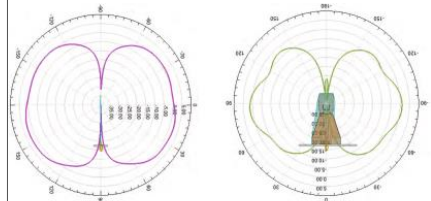
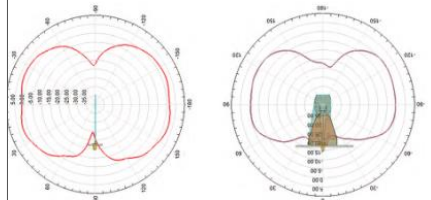


Диаграмма направленности на частоте 3500 МГц



Радиотехнические системы | 82

- РСПГ.003.09.06.00.000 Антенна двухдиапазонная компактная
- РСПГ.003.09.06.00.000-01 Антенна двухдиапазонная компактная (с килеобразным обтекателем)
- РСПГ.003.09.06.00.000-02 Антенна двухдиапазонная компактная (с цилиндрическим обтекателем)

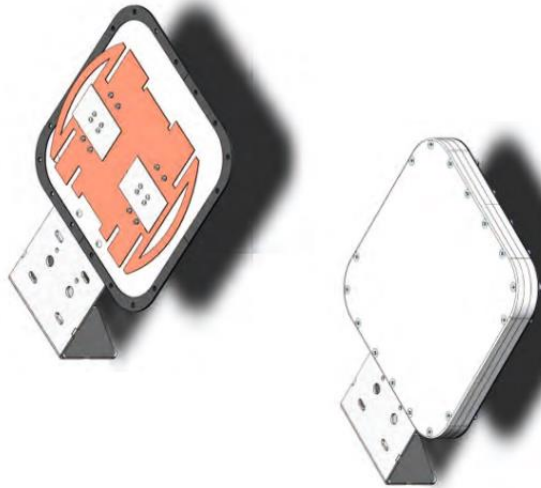
- РСПГ.003.09.03.00.000 Антенна многодиапазонная ненаправленная
- РСПГ.003.09.03.00.000-01 Антенна многодиапазонная ненаправленная (с килеобразным обтекателем)
- РСПГ.003.09.03.00.000-02 Антенна многодиапазонная ненаправленная (с цилиндрическим обтекателем)

АНТЕННА НАПРАВЛЕННАЯ ДВУХДИАПАЗОННАЯ

Назначение:

Антенна предназначена для приема и передачи радиосигналов системы беспроводной связи. Устанавливается на наземную станцию управления БАС. Уникальная конструкция позволяет получить два широких рабочих диапазона частот.

Антенна изготавливается полностью из металла (листовая нержавеющая сталь толщиной 1 мм), что делает ее конструкцию прочной и стойкой к воздействию внешних вредных факторов. Может поставляться в бескорпусном исполнении.



79 | Радиотехнические устройства

Технические характеристики:

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
Диапазоны рабочих частот, МГц	865–1015 и 2045–2840
Уровень КСВн в рабочей полосе частот, не более	2
Номинальное сопротивление входа, Ом	50
Коэффициент усиления, дБи	в нижнем поддиапазоне: не менее 9 в верхнем поддиапазоне: не менее 13
Поляризация поля	линейная
Входной разъем	N (female)
Габаритные размеры, мм, (ДхШ)	280×280
Масса с обтекателем и креплением, кг, не более	1,0

Диаграмма направленности в угломерной плоскости на частоте 1000 МГц

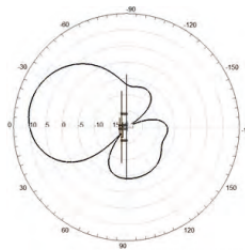
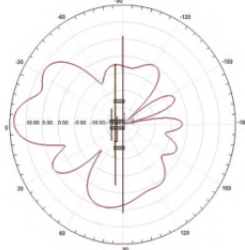
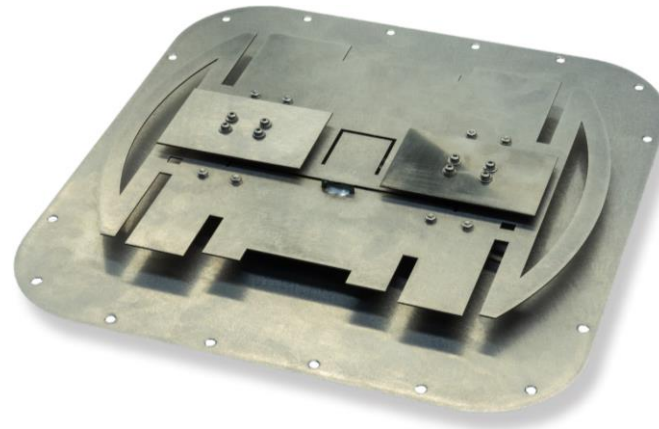


Диаграмма направленности в угломерной плоскости на частоте 2500 МГц



Радиотехнические системы



РСПГ.003.09.13.00.000 Антенна высоконаправленная двухдиапазонная

Антенна высоконаправленная двухдиапазонная

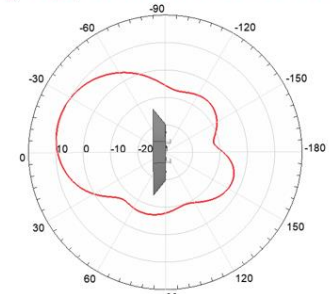
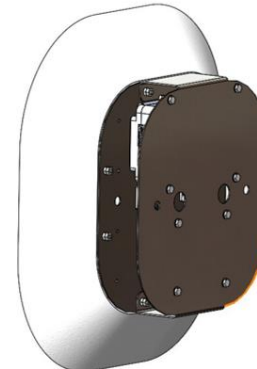
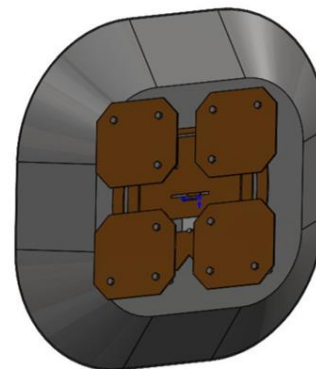


Диаграмма направленности в угломерной плоскости на частоте 1300 МГц

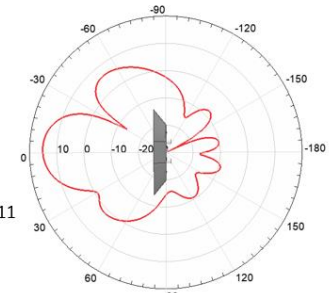


Диаграмма направленности в угломерной плоскости на частоте 2500 МГц

- Диапазоны рабочих частот, МГц
- Уровень КСВн в рабочей полосе частот
- Номинальное сопротивление входа, Ом
- Коэффициент усиления, дБи
- Габаритные размеры, мм
- Масса без крепления, г

Вход 1: 1200–1500 / Вход 2: 2100–2800
не более 2
50
в нижнем поддиапазоне: не менее 10–11
в верхнем поддиапазоне: 14–16
260×250×50
не более 750

РСПГ.003.09.04.00.000 Антенна направленная двухдиапазонная
РСПГ.003.09.04.00.000-01 Антенна направленная двухдиапазонная
(вариант с укрытием)

Исследование и разработка бортовых диплексеров

Диплексеры используются для обеспечения работы двух модемов на одну антенну по принципу частотного разделения.

Рабочие диапазоны: от 1 до 1,5 ГГц и от 2 до 2,5 ГГц.

Вариант исполнения 1

Масса: 4,1 г (без разъемов и корпуса)

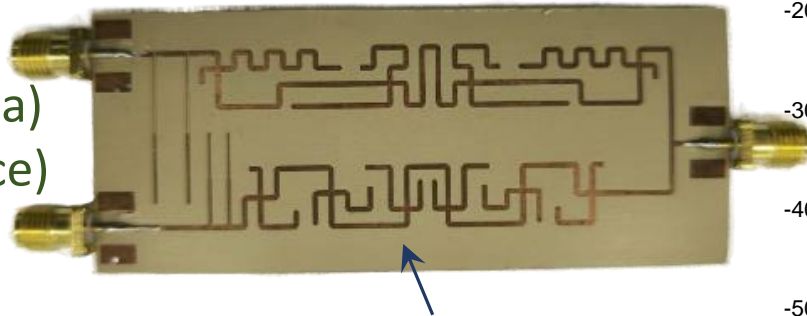
Масса: 32,5 г (с разъемами в корпусе)

Габаритные размеры: 57×38,5 мм

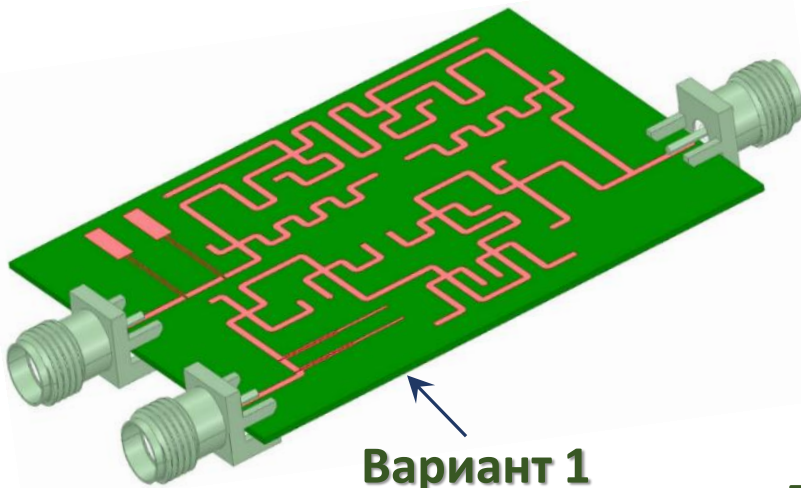
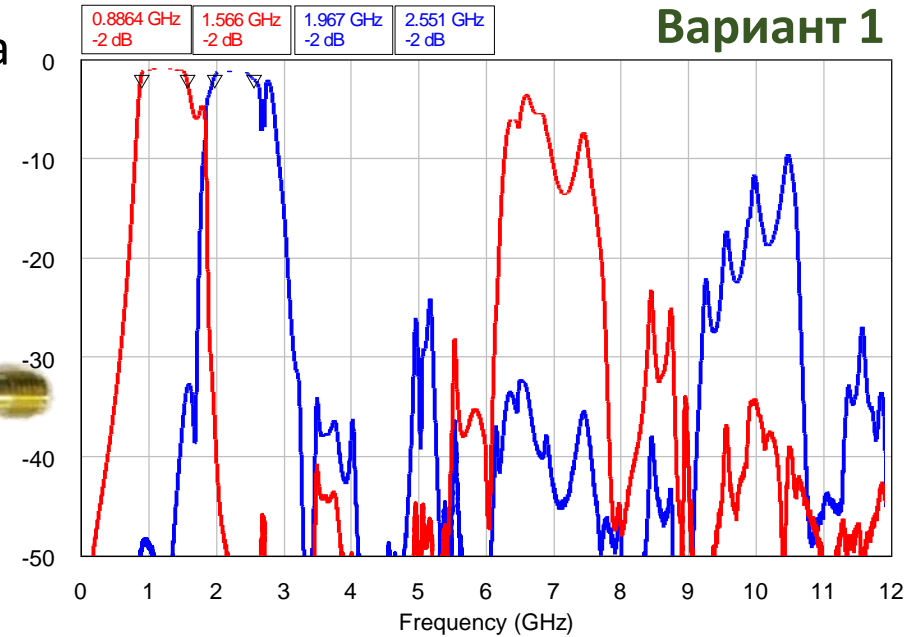
Вариант исполнения 2

Масса: 5,4 г (без разъемов и корпуса)

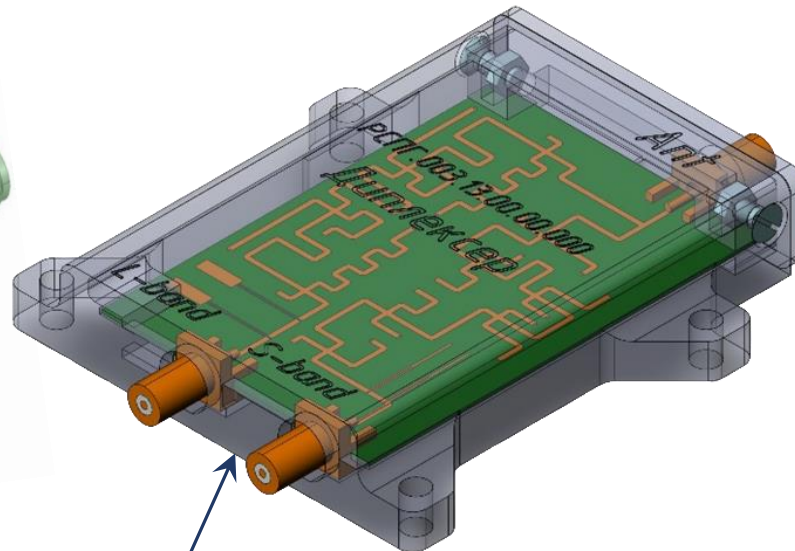
Габаритные размеры: 84×34 мм.



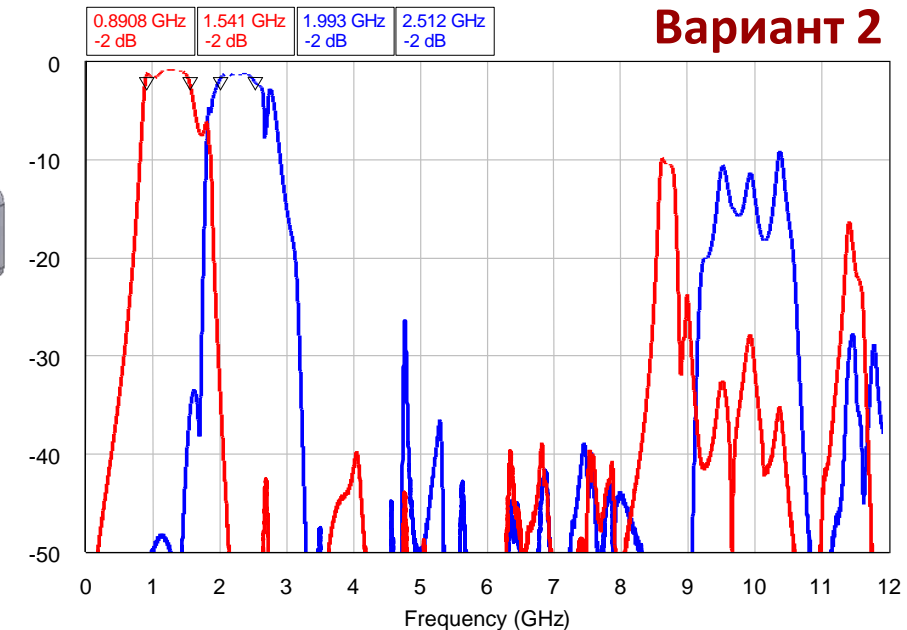
Вариант 2

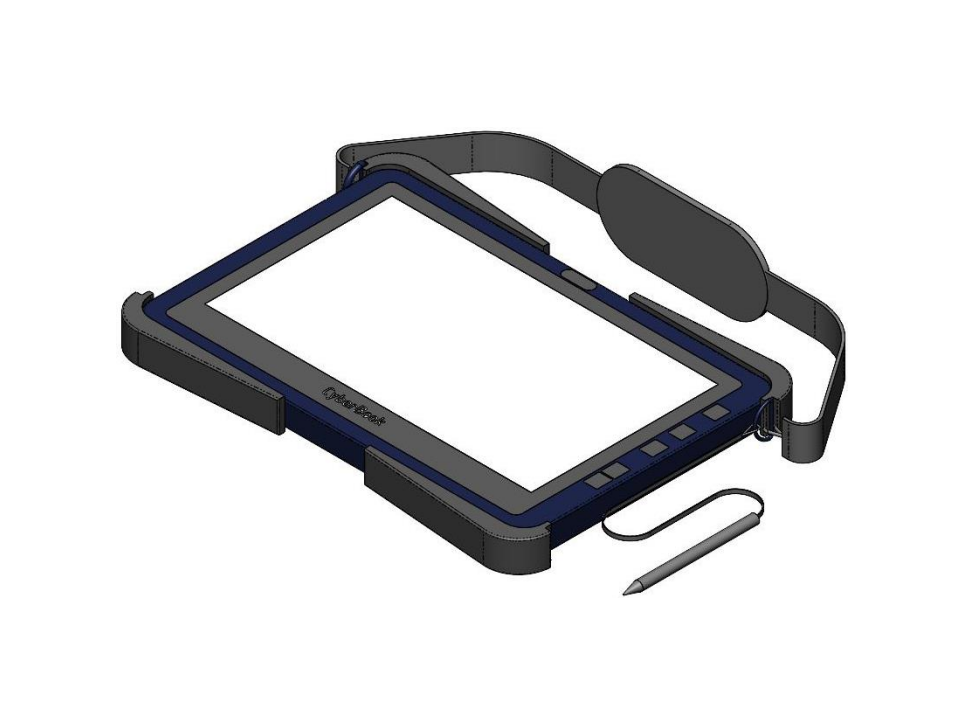
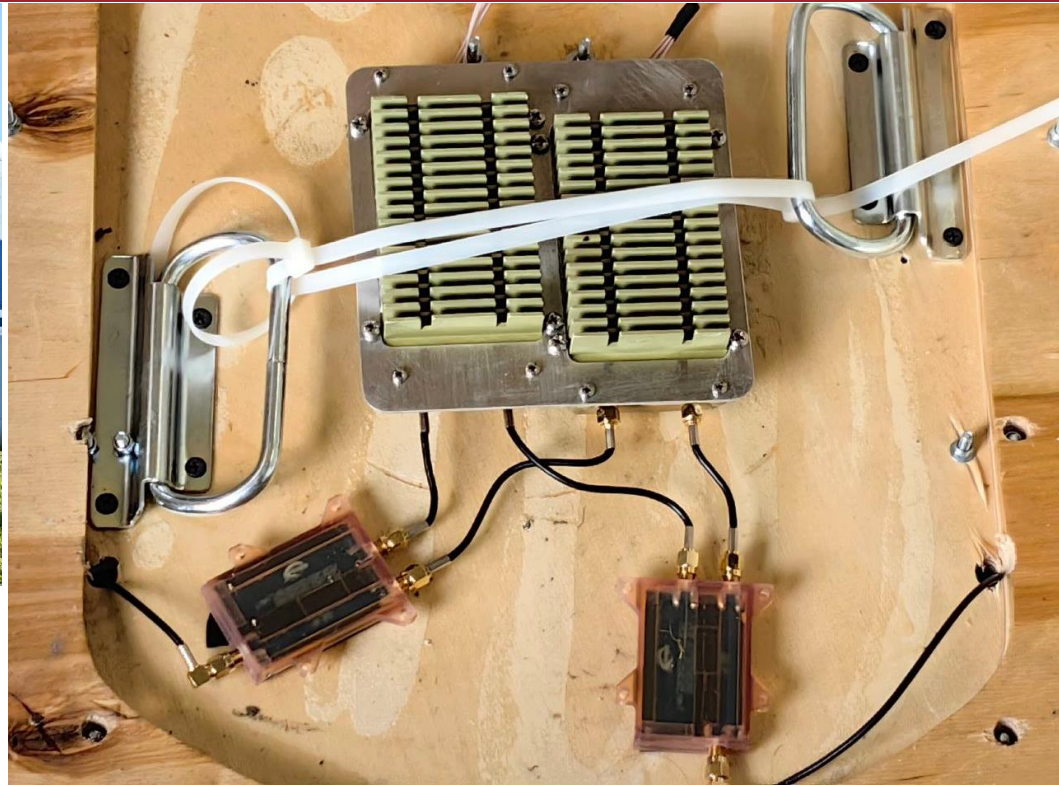


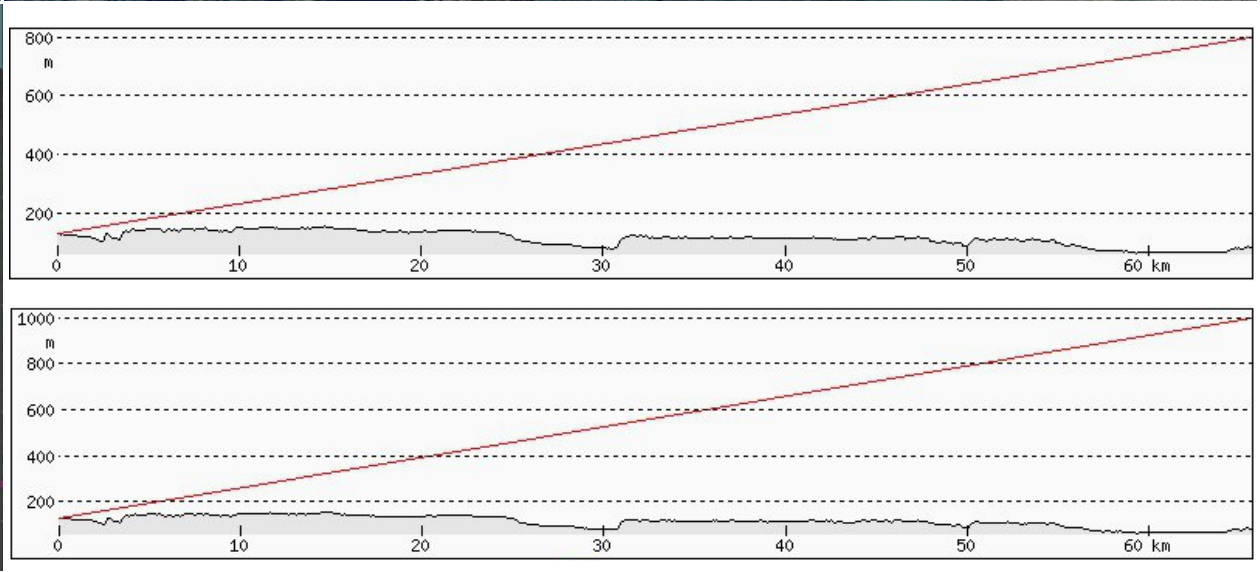
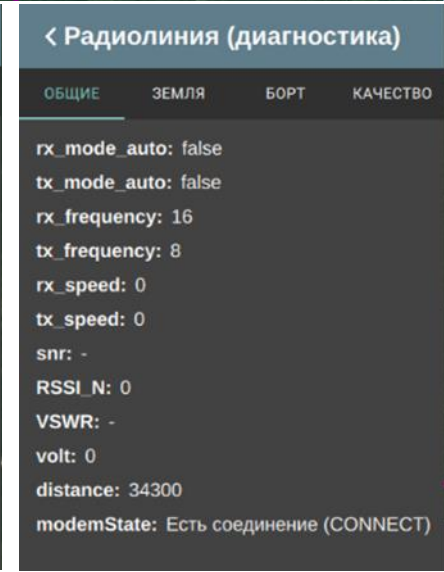
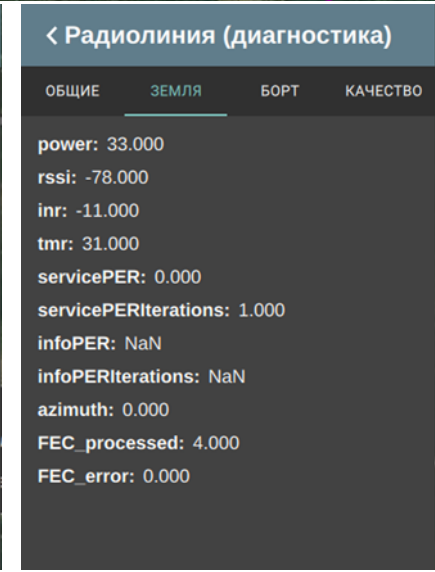
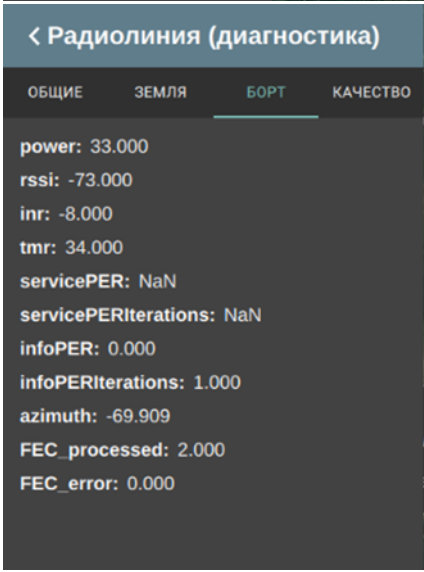
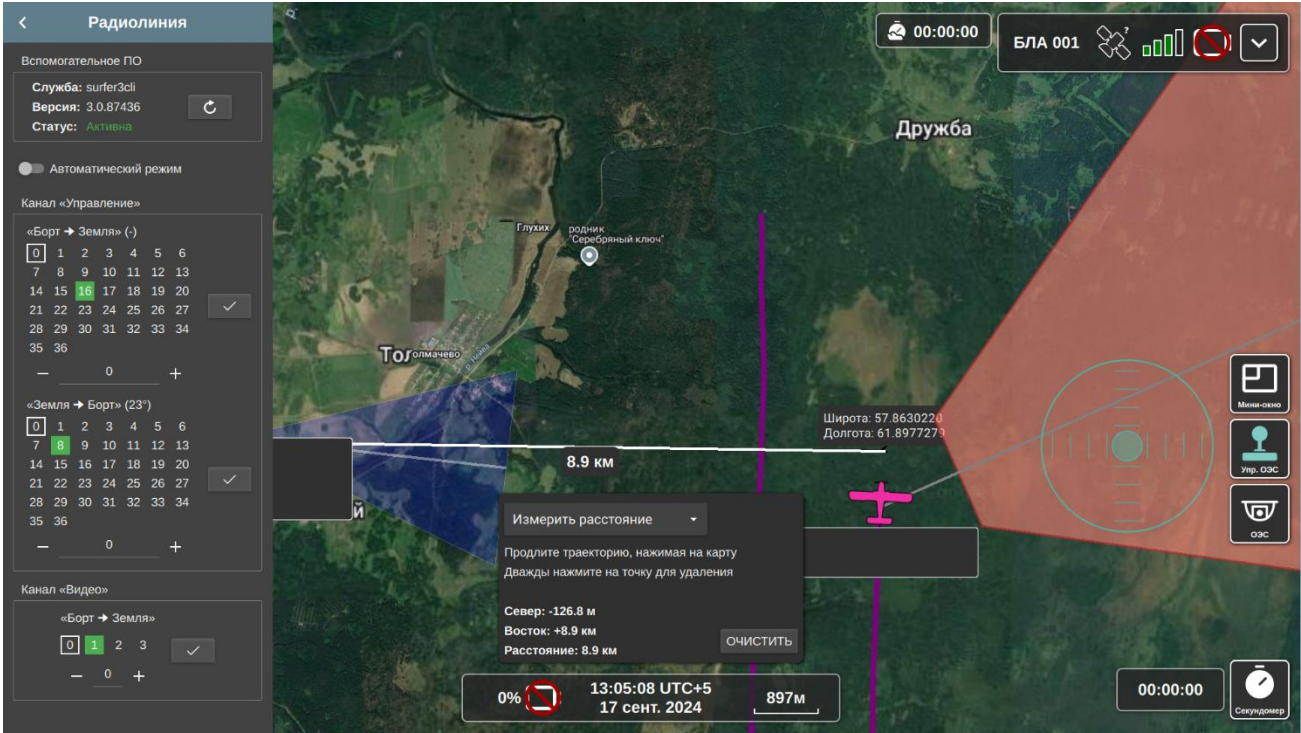
Вариант 1



Вариант 1 (в корпусе)







1. <https://www.airwar.ru/enc/bpla/rq4.html>
2. <https://en.ppt-online.org/44142>
3. <https://byjus.com/physics/satellite-communication>
4. <https://www.rfwireless-world.com/articles/satellite-communication/spacex-starlink-network-architecture>
5. https://www.researchgate.net/publication/215651603_Design_and_Early_Development_of_a_UAV_Terminal_and_a_Ground_Station_for_Laser_Communications?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoX2RpcmVjdCJ9fQ
6. <https://www.avetics.com/tethered-drone>
7. https://www.researchgate.net/publication/237009297_TECRA_C2_application_of_adaptive_automation_theory?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoX2RpcmVjdCJ9fQ
8. <https://www.joace.org/uploadfile/2015/1015/20151015021322106.pdf>
9. http://crd.yerphi.am/files/Baykar_catalog_eng.pdf
10. <https://amphenolprocom.com/products/portable-antennas/605-flx-2412-rsma>
11. <https://habr.com/ru/articles/710834>
12. <https://www.taoglas.com/product/tg-22-2g3g-cellular-connector-mount-monopole-smam-2>
13. <https://teleofis.ru/production/antenny/antenna-4g-3g-gsm-teleofis-rc41-sma-3db/?ysclid=luwoh8llio741851209>
14. https://www.42unita.ru/catalog/antenny_npk_kroks/Vsenapravlennaya_KC5_800_2700_SMA_ddd
15. <https://kroks.ru/shop/antenny-gsm-3g-4g-wifi/napravlennaya-9-db-gsm900lte800-antenna-kp9-900/?ysclid=luwpjs6yvk807218908>
16. <https://mars-antennas.com/product/ma-wa25-dp19>
17. <https://antex-e.ru/store/3g-antenny/ax-2014pf-antenna-3g-14-dbi-umts2100>
18. <https://antex-e.ru/store/4g-antenny/antenny-4g-lte1800/ax-1814y---napravlennaya-antenna-gsm-1800--14-db>
19. https://www.google.ru/maps/place/Алапаевск,+Свердловская+обл./@57.8651023,61.7469933,1290m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x43c01230e137984f:0x33b02c2b5bf79298!8m2!3d57.8483493!4d61.6880302!16zL20vMDczODU2?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDQwOS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D



Шишкин М.С. «Разработка компактной широкополосной антенны со стабильной формой диаграммы направленности для применения в составе малоразмерных БПЛА» // *Журнал радиоэлектроники*. 2024. – №. 12.

Патент РФ на **полезную модель** RU 219304 U1, 11.07.2023.

Патент РФ на **полезную модель** RU 226519 U1, 06.06.2024.

Шишкин М.С. «Разработка направленной двухдиапазонной антенны для наземного терминала связи беспилотных авиационных систем» // *Журнал радиоэлектроники* (на рецензировании).

Патент РФ на **изобретение** RU 2825550 C1, 27.08.2024.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Докладчик: Шишкин Михаил Сергеевич
Начальник бюро РТС, АО «ЭЙРБУРГ»
Аспирант, ИРИТ-РТФ УрФУ им. Б.Н. Ельцина
E-mail: m.shishkin@air-burg.ru
Направление исследований: 2.2.14 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

