

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ И НОСИМЫХ РАДИОСТАНЦИЙ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА

Альшенецкий В. А.¹, Круглов А.С.²

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-6-21

Ключевые слова: радиосвязь, диапазон частот, поддиапазон, широкая полоса, коэффициент усиления, диаграмма направленности, несимметричный штырь, диполь.

Аннотация

Цель работы — анализ современных зарубежных антенн для портативных и носимых радиостанций тактического звена и определение путей для разработки отечественных аналогов с превосходящими характеристиками.

Методы исследования: сравнение параметров антенн по данным основных производителей, представленных на рынке для армий стран НАТО, а также компьютерное моделирование и практические испытания макетного образца-прототипа отечественной трёхдиапазонной антенны.

Результаты исследования: показано, что а) ассортимент предлагаемых зарубежными производителями портативных антенн значительно расширился, из-за появления новых, более высокочастотных диапазонов, которое вызвано массовым применением РЭБ и РЭР, БПЛА и переносных РЛС; б) в стремлении улучшить характеристики своих антенн, зарубежные производители вынужденно ищут компромисс между габаритами, шириной полосы частот, коэффициентом усиления в направлении горизонта и т.д. Каждая фирма предпочитает выбирать целевым один-два основных параметра в конкретной модели. Это, в итоге, приводит к большому ассортименту антенн. В целях его сокращения появляются антенны с двумя и более поддиапазонами; в) отмечено, что разработчики «НПО АНГСТРЕМ», напротив, стремятся получить как можно больше оптимизированных параметров на каждой антенне при значительно меньшем ассортименте. В частности, весьма перспективным направлением оказалась разработка комбинированных антенн, состоящих из отдельных излучателей, имеющих отдельные согласующие устройства, и объединённых в единую конструкцию, с общим портом питания, что является новым методом сокращения номенклатуры антенн.

Практическая полезность заключается в предложенном методе создания многодиапазонных антенн комбинированного типа, опробованном на прототипе трёхдиапазонной антенны.

Введение

В условиях массового применения средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и разведки (РЭР) особое значение приобретают сверхширокополосные средства радиосвязи. Современные портативные и носимые радиостанции требуют соответствующих антенн, способных эффективно работать в широкой полосе частот и при повышенном уровне мощности. Такие антенны должны быть согласованы в широкой полосе частот (или в нескольких, более узких, полосах), при этом иметь достаточно высокий коэффициент усиления в направлении горизонта (соответствующую диаграмму направленности).

Кроме того, к антеннам предъявляются требования малозаметности, удобства эксплуатации, а это означает ограничение по габаритам. Естественно, перечисленные характеристики являются во многом противоречивыми, и при разработке антенн, отвечающих этим требованиям, всегда приходится идти на компромиссы.

Изменения в ассортименте антенн за последнее время

Сверхширокополосные антенны предыдущего поколения строились, в основном, на базе длинного ленточного полотна (излучателя) с возможностью складывания для удобной переноски, с согласующим устройством в основании. Поскольку при длине несимметричного штыря, либо каждого плеча дипольной антенны, превышающей примерно $5/8$ λ , диаграмма направленности (ДН) по углу места начинает дробиться на несколько лепестков (причины описаны в разделе «проблемы разработки»), некоторые производители применяли различные приёмы для уменьшения данного эффекта. Например, деление полотна на отрезки с фазосдвигающими индуктивностями, которые шунтируются резисторами для возможности согласования в широкой полосе частот³.

Второй вариант⁴ — антенна с коротким излучателем, имеющая цельную ДН, но эффективная

¹ Альшенецкий Владимир Анатольевич, ведущий инженер АО «НПО Ангстрем», Москва, Россия. E mail: alshenetskiy@npo-angstrom.ru

² Круглов Артём Сергеевич, ведущий инженер АО «НПО Ангстрем», Москва, Россия. E mail: KruglovAS@npo-angstrom.ru

³ Патент US 6429821 B1 aug. 6, 2002

⁴ Патент RU 216829 U1



Рис. 1а. Вид антенны APX05 («Comrod»)

только на верхних частотах диапазона. При этом для согласования короткого полотна на нижних частотах также применялись резисторы.

Все перечисленные методы имеют существенные недостатки и лишь частично решают проблему.

К тому же применение РЭБ, РЭР, широкое распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), переносных радиолокационных станций (РЛС), вызвали появление новых, более высокочастотных диапазонов, вплоть до 18 ГГц. Теперь уже недостаточно иметь антенну, покрывающую полосу частот 30–520 МГц, что недавно считалось практически неофициальным стандартом. Поэтому создать одну антенну, эффективно работающую во всех требуемых диапазонах, оказалось невозможным.

В современных условиях стали всё чаще применяться антенны с широкой, но всё же ограниченной полосой рабочих частот. Тем более, что устоявшиеся поддиапазоны уже сформировались для различных подразделений, исходя из специфики их работы, условий размещения и т. д. Таким образом, компромиссные решения в конструкции антенн всё чаще смещаются в сторону минимально необходимой ширины диапазона для одной антенны, с целью получения наилучших параметров.

При этом для минимизации количества применяемых антенн некоторые разработчики создают двухдиапазонные антенны, а иногда – работающие в трёх или даже четырёх диапазонах. При этом, каждый диапазон достаточно узкий, сформирован под конкретную задачу. Они будут рассмотрены в обзоре портативных антенн ниже по тексту.

Наиболее частым вариантом среди двухдиапазонных являются антенны, работающие на участках 140–170 МГц и 440–470 МГц. Дело в том, что обычный четвертьволновый штырь, установленный на портативной радиостанции, расположенной в руках оператора, имеет входной импеданс, близкий к активному сопротивлению 50 Ом, не только на основной, но и на утроенной частоте, где его длина составляет $\frac{3}{4}$ лямбда. Этот вариант обычно применяется с двухдиапазонными радиостанциями двойного назначения.

Конечно, на поддиапазоне 440–470 МГц главный лепесток ДН уже дробится из-за избыточной длины полотна, но простота конструкции, включающей в себя только гибкий штырь (тросик) и антенный соединитель (разъём), в данном случае является определяющим фактором. Некоторые производители идут на компромисс, чтобы минимизировать искажение ДН, и снижают физическую длину излучателя антенны (штыря), с дополнительным согласованием его с помощью так называемой удлинительной катушки в основании. Это исправляет ситуацию с ДН, но сужает полосу рабочих частот в каждом поддиапазоне. Подобные антенны появились достаточно давно, их много и на гражданском рынке, и мы не будем останавливаться на них в обзоре новинок.

Обзор зарубежных антенн для портативных радиостанций

Рассмотрим, какая продукция появилась в последние годы у зарубежных производителей антенн для радиостанций тактического звена. Не будем брать во внимание сверхширокополосные антенны диапазона 30–512 МГц, поскольку они уже достаточно подробно рассматривались⁵, не вполне отвечают современным требованиям по габаритам, и (или) имеют заведомо худшие параметры, чем антенны с ограниченной полосой частот.

Построим обзор снизу-вверх по частоте. На нижних частотах пока, в основном, используются однодиапазонные антенны. Здесь несколько удивил (в отрицательную сторону) один из лучших производителей портативных широкополосных антенн – «Comrod»⁶.

В стремлении сделать малогабаритным (0,5 м) несимметричный штырь диапазона 30–88 МГц, разработчик согласился на значительное снижение коэффициента усиления (КУ), который у антенны APX05 (рис. 1а) во всей полосе частот имеет значимо отрицательную величину (рис. 1б). Для расширения полосы частот малогабаритного излучателя разработчик сделал его спиральным. Добротность длинной катушки (спирали) снижается благодаря потерям на излучение, а не только из-за активных потерь на сопротивлении

⁵ <https://wireless-e.ru/antenny/antenny-dlya-radiostantsij>

⁶ <https://www.comrod.com>, дата обращения 09.01.2025

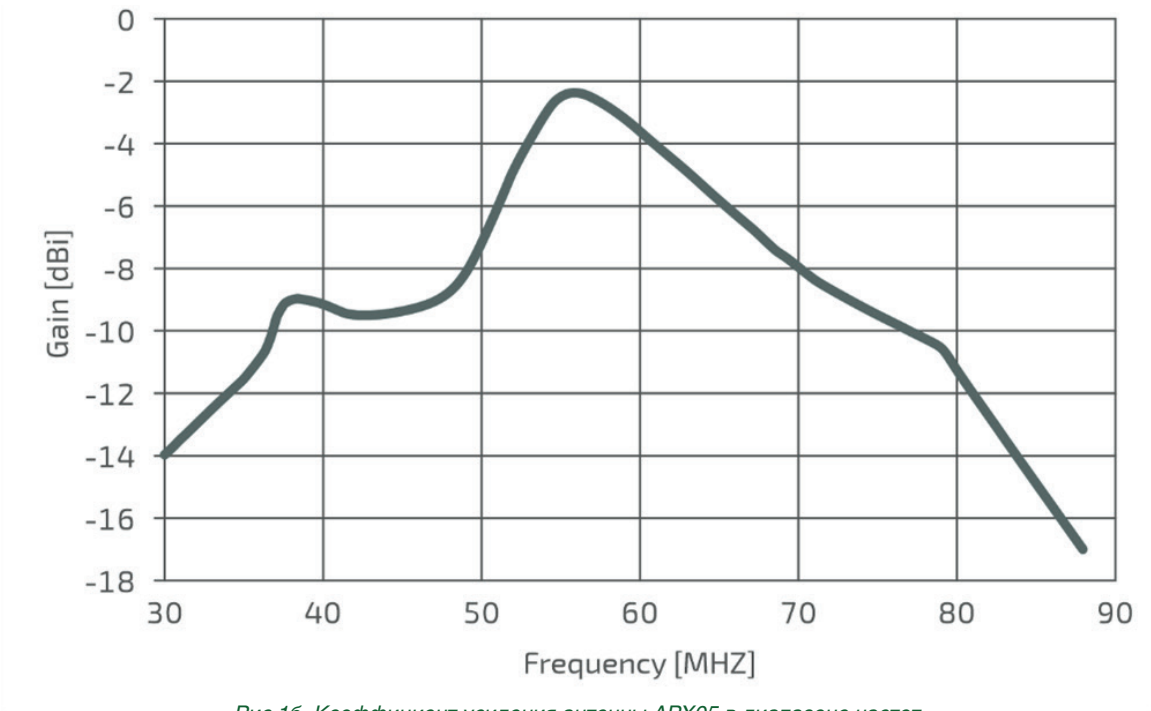


Рис.16. Коэффициент усиления антенны APX05 в диапазоне частот

Таблица 1

Технические характеристики антенны APX05

Частотный диапазон	30–88 МГц
Импеданс	50 Ом, KCBH < 3.5
Допустимая мощность	5 Вт
Соединитель	TNC Male (допускаются другие типы)
Конструкция	Спиральный излучатель в резиновой оболочке
Длина	0,5 м
Масса	81 г
Покрытие	Полиуретановый лак
Рабочая температура	От –55 °С до +71 °С

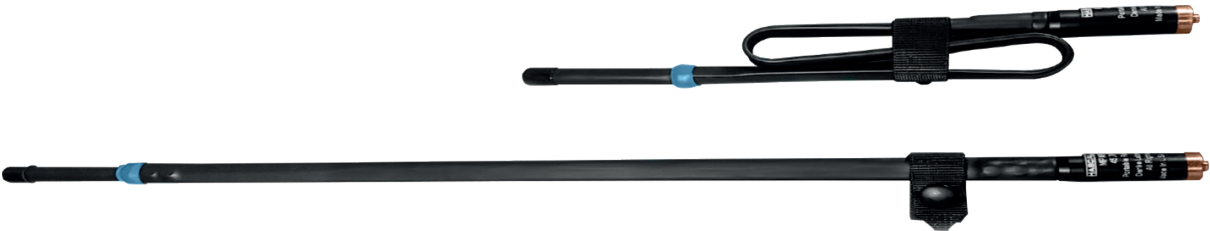


Рис. 2а. Вид антенны MPMP45.76 («Hascall-denke»)

провода. Естественно, между антенным разъёмом и излучателем есть и согласующее устройство (СУ), поскольку диапазон частот, в котором согласована антенна, достаточно широкий.

Причём, в схеме СУ, скорее всего, присутствует резистор и (или) низкочастотные реактивные

элементы. Не случайно допустимая мощность, подаваемая на антенну, составляет всего 5 Вт (табл. 1).

Другой, не менее известный производитель, «Hascall-Denke»⁷, в антенне MPMP45.76 (рис. 2а) пошёл по пути значительного сужения

⁷ <https://www.hascall-denke.com>, дата обращения 09.01.2025

полосы частот для получения большего коэффициента усиления, до 4,5 дБи (рис. 2в). Это обычно достигается коллинеарной конструкцией, обладающей повышенным КУ и, к сожалению — узкополосностью.

Антенна МРМР45.76 работает, как заявлено производителем, даже в свёрнутом виде, при этом согласование по КСВН меняется совсем незначительно (рис. 2б). Конечно, этот факт заставляет немного задуматься над способом согласования излучателя антенны (на предмет наличия резистора в схеме СУ).

Также, нельзя не заметить, что нижний предел шкалы КСВН на графиках равен нулю, а не единице, но все характеристики антенн в этой статье приведены в точном соответствии с тем, как они даны на сайтах производителей, включая опечатки и технические нестыковки. В случае с данной антенной, например, непонятна ещё и её высота в развёрнутом виде. В параметрах она указана как «overall», общая высота, но значение 0,51 м явно не соответствует размеру коллинеарной антенны, которая по определению должна быть значительно длиннее четвертьволнового штыря, т. е. — намного более 1,5 м.

Видимо, указание КУ = 4,5 дБ относительно «Stock antenna» в справочном листе совсем не случайно, и антенна вовсе не коллинеарная, а значение КУ дано относительно какой-то «типовой» антенны, имеющейся на рынке. Это — маркетинговый приём, как и сохранение КСВН в свёрнутом виде. Ведь всем знакомы фото и видео, где военнослужащие показаны со сложной антенной, видимо, вне зоны необходимости нормальной дальности радиосвязи. Либо перед посадкой внутрь бронетехники. Но антенна, не чувствительная к длине и форме излучателя, вряд ли может обладать высоким коэффициентом усиления.

Следующая фирма, «Trival-Antene»⁸, традиционно предпочитает выпускать линейку антенн разной длины на один диапазон (рис. 3). А заодно, и с разными типами разъёмов. Принципиально новых изделий на частоты 30–108 МГц у этого производителя не обнаружено.

Понятно, что характеристики антенн в линейке AD-25/CW улучшаются по мере удлинения полотна, поскольку самое большое из них не превышает 5/8 длины волны на верхней частоте диапазона.

У «Trival antene» имеются линейки антенн и с большим рядом длин полотна, но, к сожалению,

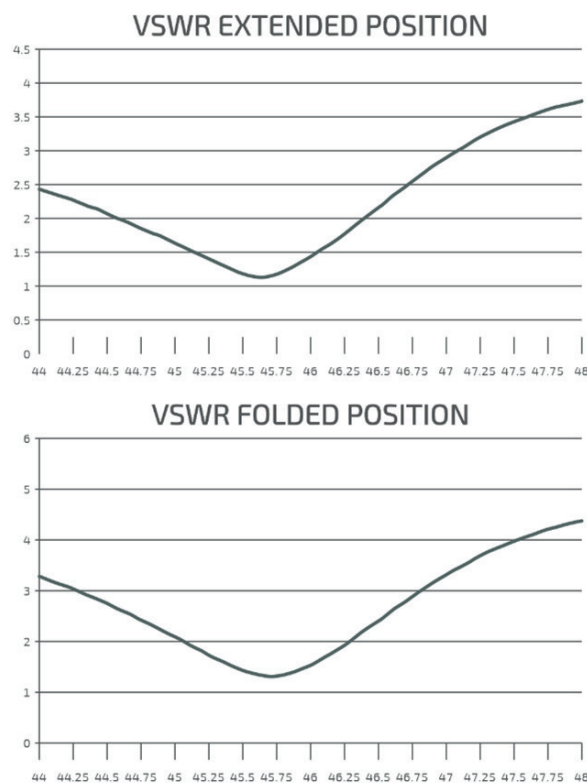


Рис. 2б. КСВН антенны в развёрнутом и в свёрнутом виде

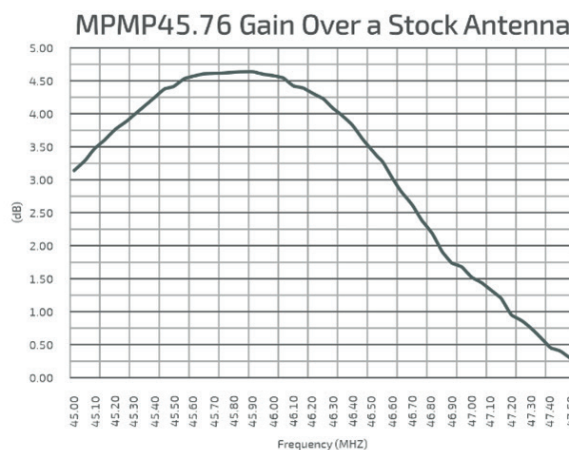


Рис. 2в. КУ антенны в диапазоне частот

в приведённых справочных данных отсутствуют основные электродинамические параметры.

Выше по частоте, от 100 до 200 МГц, всё ещё преимущественно встречаются однодиапазонные антенны. Для примера посмотрим на антенну VHF100400HH-N с диапазоном 100–400 МГц от «Comrod» (рис. 4а). Это — типичный образец сверхширокополосной антенны предыдущего поколения, но с ограниченной полосой рабочих частот.

⁸ <https://www.trivalantene.si> (дата обращения 09.01.2025)

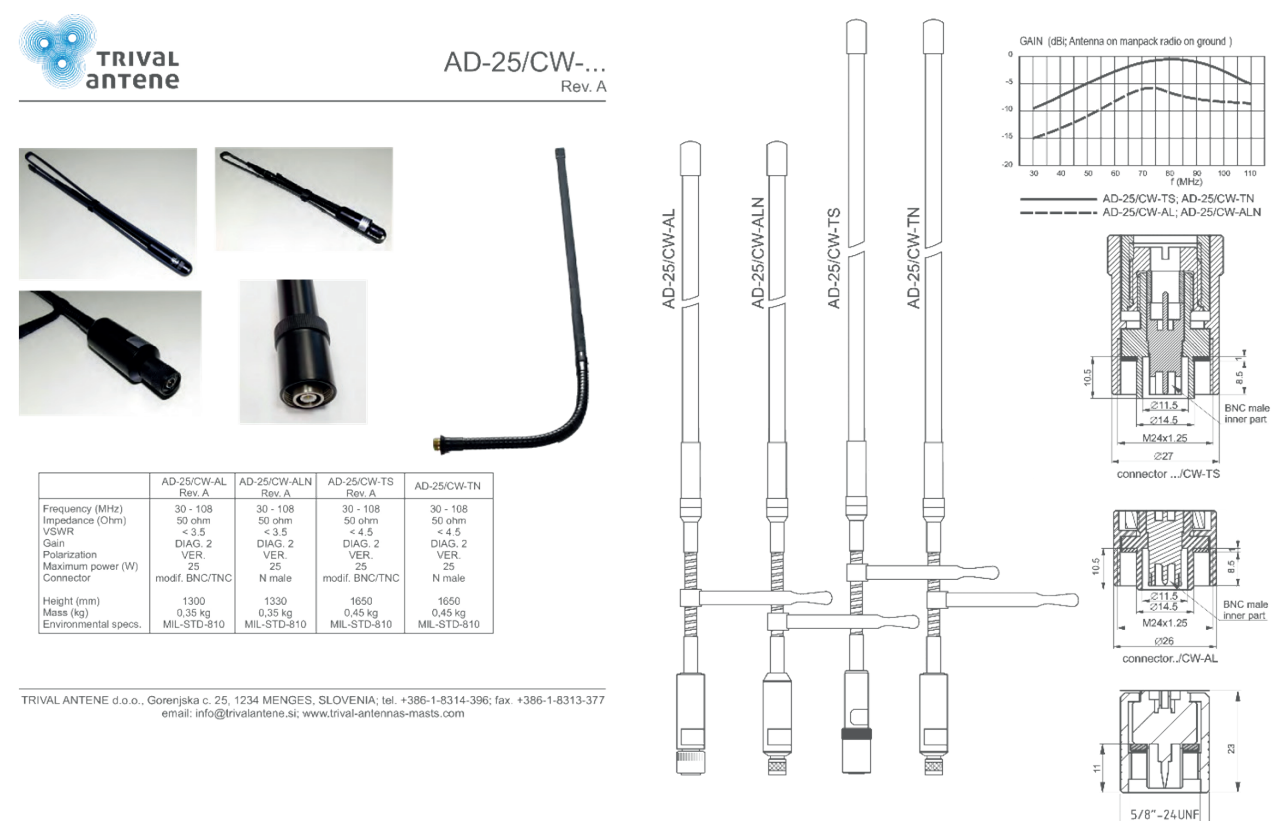


Рис.3. Параметры линейки антенн AD-25/CW («Trival antene»)

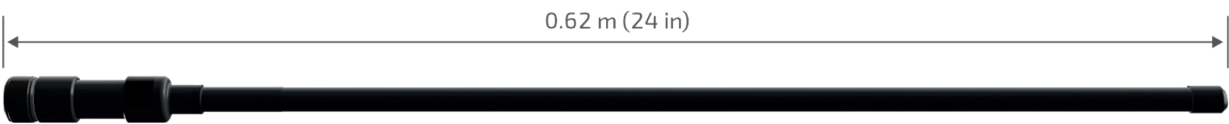


Рис.4а. Внешний вид антенны VHF100400HH-N

Таблица 2

Параметры антенны VHF100400HH-N

Частотный диапазон	100–400 МГц
КСВН	< 3.5 (см. график на рис. 46)
КУ	см. график на рис. 46
Импеданс	50 Ом
Максимальная мощность	5 Вт непрерывная 10 Вт в течение 30 мин при 20°С и 10 Вт в течение 10 мин при 50°С, 10 Вт в течение 5 мин при 70°С
Соединитель	N Type male (возможны другие)
Конструкция	Несимметричный штырь из гибкой ленты, со встроенным согласующим устройством.
Длина	62.5 см
Вес	200 г
Покрывтие	Ленточное полотно — полиолефиновая термоусадочная трубка АМУ-краска
Температурный диапазон	–55 °С, +71 °С

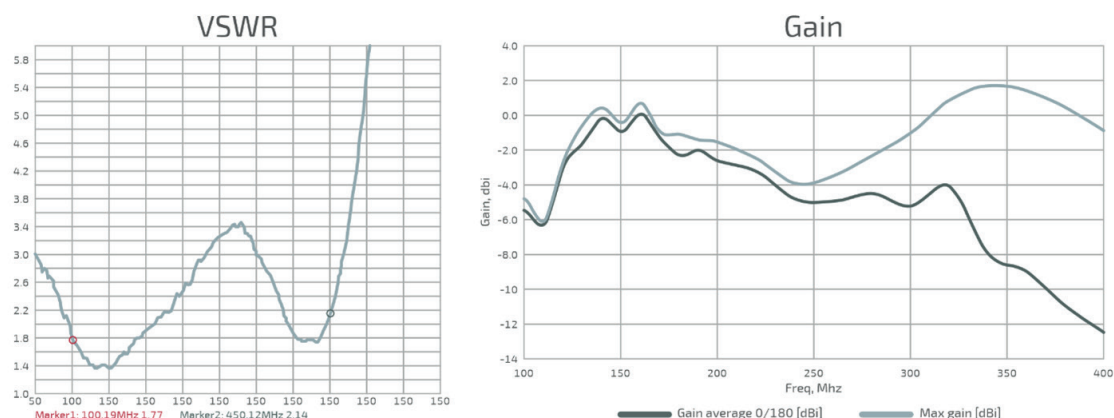


Рис.46. Графики КСВН и Ку антенны VHF100400HH-N («Comrod»)

Параметры антенны показаны в табл. 2.

Если сопоставить невысокую мощность (5 Вт), которую можно в непрерывном режиме подавать на антенну, и невысокий КУ в нижней и в верхней частях диапазона (рис. 46), можно с уверенностью сказать, что в составе согласующего устройства (СУ) этой антенны есть активное сопротивление, создаваемое либо резистором в схеме, либо потерями в сердечнике трансформатора. Также, возможно, катушки индуктивности в составе СУ имеют низкую добротность (за счёт активного сопротивления провода). Неудивительным будет и наличие конденсаторов с большим тангенсом угла потерь на высоких частотах (из личного опыта авторов). А, поскольку КУ в направлении максимума ДН

всё же выше, чем в направлении горизонта на верхних частотах, ясно, что здесь также играет роль излишняя длина излучателя (по отношению к 5/8 длины волны на верхней части диапазона).

Интересные новинки появились в диапазоне ДМВ1 у «Hascall-denke». Это – относительно малогабаритная антенна MPMP225X2AD, работающая в полосе частот 225–450 МГц, с тонким полотном круглого сечения (рис. 5). Здесь достигнуты довольно неплохие параметры, например КУ находится в пределах от минус 1 до плюс 2 дБи. В данной модели фирма ушла от традиционных форм-факторов (ленточное полотно или полотно увеличенного диаметра на гибкой ножке). Параметры антенны показаны ниже (табл. 3).



Рис.5. Внешний вид антенны MPMP225X2AD («Hascall-denke»)

Таблица 3

Параметры антенны MPMP225X2AD

Частотный диапазон	225–450 МГц
Коэффициент усиления	От минус 1 до плюс 2 дБи
КСВН	3,0: 1 максимум
Входной импеданс	50 Ом номинально
Допустимая мощность	10 Вт
Поляризация	Вертикальная
Диаграмма направленности	По азимуту 360 град. По углу места 90 град.
Соединитель	SMA розетка
Общая высота	0,46 м
Вес	120 г

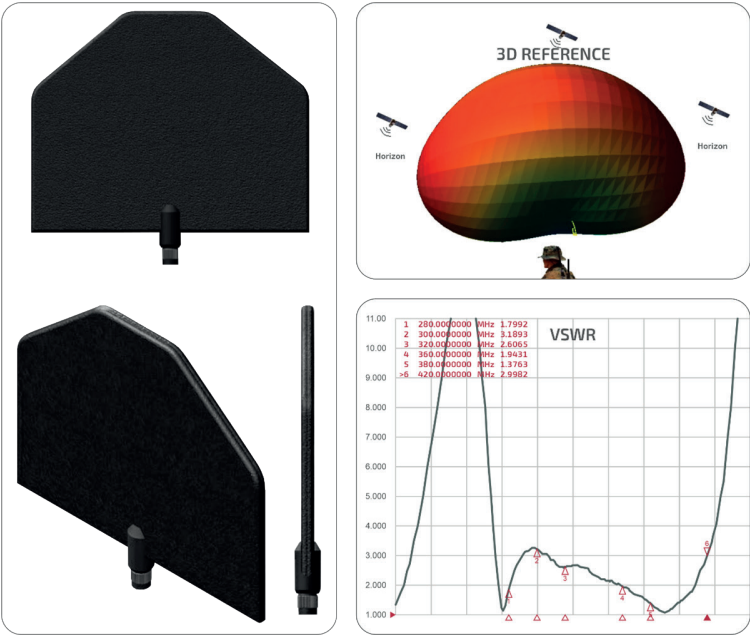


Рис.6. Внешний вид, ДН и КСВН антенны МРНР300-380 («Hascall-denke»)

Но самая необычная форма обнаружилась у антенны МРНР300-380, предназначенной для спутниковой связи SOTM-MUOS в диапазоне 300–380 МГц (рис.6).

Параметры антенны приведены в табл. 4.

Антенна, судя по описанию, форме корпуса и разъёму TNC-male, может прикручиваться непосредственно, или через переходники, на подходящие по конструкции модели портативных и носимых радиостанций. В комплекте идёт один

переходник в формате TNC-розетка – N-вилка, выполненный в виде «гусиной шейки» длиной 150 мм, и второй, аналогичный по типу соединителей, но представляющий собой отрезок кабеля длиной 610 мм.

Многодиапазонные антенны для портативных и носимых радиостанций чаще встречаются на диапазоны выше 200 МГц. Особенно большим ассортиментом таких антенн отличается «COMROD» (рис. 7, 8).

Параметры антенны МРНР300-380

Таблица 4

Частотный диапазон	300–380 МГц
Коэффициент усиления	От 0 до плюс 2 дБс (гибридная поляризация)
КСВН	3,0: 1 максимум
Входной импеданс	50 Ом номинально
Допустимая мощность	40 Вт
Поляризация	Гибридная
Диаграмма направленности	По азимуту 360 град. По углу места 170 град. (полусфера)
Соединитель	TNC вилка
Общая высота	585 мм
Ширина	585 мм
Вес	120 г



Description

- Handheld antenna designed for modern wideband radios
- Dual-band UHF and L-S Band
- UHF monopole, L-S Band dipole design
- Small form factor only 30 cm (12 in) long
- Power rating 5W CW, 25W PEP
- Designed to meet MIL-STD-810-G

Electrical Specification

Frequency	UHF: 225-450 MHz L-S Band: 700-2600 MHz
VSWR	≤ 3.5:1 (see curve)
Gain	See curve
Polarisation	Linear
Impedance	50 Ohm
Power Rating	5W CW, 20W PEP

Mechanical Specification

Length	30 cm (12 in)
Diameter	20 mm (0.79 in)
Weight	100 g (3 oz)
Connector	TNC Male

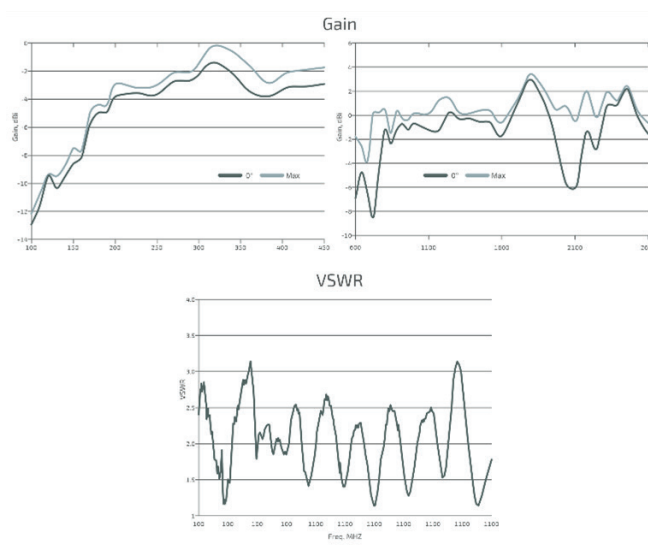


Рис. 7. Параметры двухдиапазонной антенны UHF2252600DB-NH



Features:

- Multiband LTE, 450-470/698-960/1710-2170/2500-2700 MHz
- Dipole design with gooseneck
- Designed for man-portable radios/modems
- Rugged high quality antenna with a durable construction

Electrical Specification

Frequency range	450-470 MHz 698-960 MHz 1710-2170 MHz 2500-2700 MHz
VSWR	< 3.5:1
Nominal Impedance	50 Ω
Power rating	3W CW, 5W for short periods (< 30 sec's)
Gain	See curve
Polarisation	Vertical
Connector	TNC female, others on request

Mechanical Specification

Design	Wideband dipole, and gooseneck
Length	316mm
Diameter	20mm
Weight	75g
Finish	Black paint
Temperature range	-55°C, +71°C, -67°F, +160°F

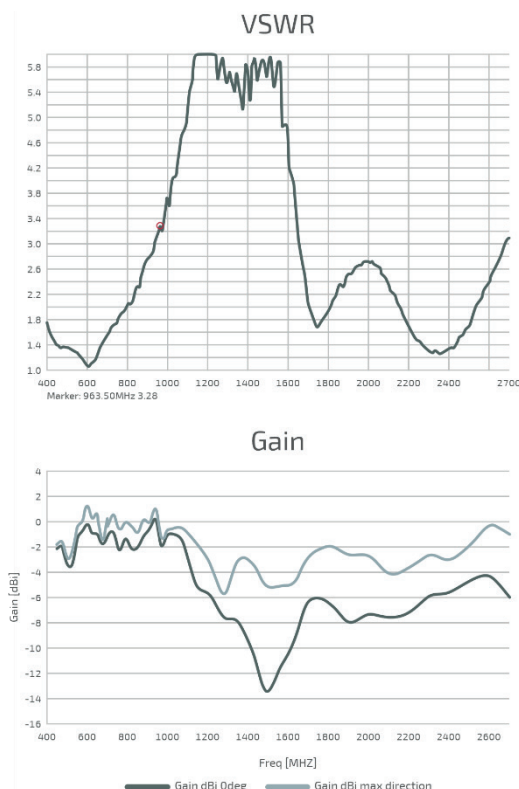


Рис. 8. Параметры четырёхдиапазонной антенны UHF427NH

Конечно, строгое деление на частотные интервалы в подобных антеннах трудно осуществить, и поддиапазоны формируются подгонкой размеров полотна и элементов СУ, иногда просто плавно перетекая один в другой.

Двигаемся ещё выше по частоте, здесь интересные новинки есть у фирмы «Harris»⁹, например, антенна на диапазон 1,6–5,9 ГГц (рис. 9).

⁹ <https://www.l3harris.com> (дата обращения 09.01.2025)

TACTICAL ROVER® CLS ANTENNA

C-, L-, and S-Band Handheld Radio-Mounted Antenna

L3Harris Tactical ROVER CLS Antenna is an excellent solution where a medium-gain, rugged, small form factor or handheld radio-mounted antenna is needed. The compact antenna has an excellent gain pattern and is easy to attach via the TNC interface connector. This antenna is often paired with L3Harris successful handheld Tactical ROVER line of products.

PRODUCT DESCRIPTION
L3Harris Tactical ROVER CLS Antenna is a compact, wideband antenna for use in a variety of handheld and mobile applications. Ruggedized design and environmentally sealed packaging provide reliable communications in harsh operating conditions. Directly mounts to the radio or can be connected through a coaxial cable for remote placement of the antenna. Weighing less than 10 ounces and capable of 40 W transmit power up to 40 watts, this antenna is an extremely versatile, multi-application solution.



Versatile, Small Form Factor, Wideband Antenna

- KEY FEATURES**
- > Transmits and receives C-, L- and S-Bands
 - > Wideband: 1.6 GHz to 5.9 GHz
 - > Excellent gain-to-size-ratio antenna element
 - > Rugged, water/dust-sealed design
 - > Excellent omnidirectional gain pattern
 - > Peak gain: +2 dB L- and S-Band, +3 dB C-Band
 - > TNC RF interface connector with easy thumbscrew
 - > Compatible with L3Harris handheld Tactical ROVER products

SPECIFICATIONS

Physical Characteristics

- Size
- > Two versions available:
 - > Original TNC thumbscrew: 3.29" (l) x 1.25" (OD)
 - > Low-profile TNC thumbscrew: 3.06" (l) x 1.25" (OD)
- Weight
- > < 10 oz.
- Antenna Connector
- > TNC male (11)

Performance Characteristics

- Wideband Antenna
- > Frequency range:
 - 1.6 GHz to 5.9 GHz
 - > Typical gain:
 - C-Band: 3 dBi
 - L-Band: 2 dBi
 - S-Band: 2 dBi
 - > Polarization:
 - Linear (orientation)
 - > Biconical omnidirectional pattern
 - > Impedance: 50 ohms
 - > RF power: 40 W (max)
 - > Temperature:
 - Operational: -40 °C to 65 °C
 - Non-Operational: -40 °C to 85 °C



ANT-202-1 mounted on ROVER handheld



Wideband antenna for use in a variety of applications



Compatible with a variety of commercially available vehicle mounts

1. External replacement and mandatory for use with tactical ROVER

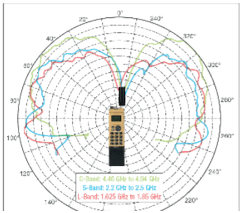


Рис. 9. Параметры портативной антенны «Harris» на диапазоны C, L, S

AM-305
CAVITY-BACKED ANTENNA

The AM-305 is a planar, cavity-backed spiral antenna operating from 8-18 gigahertz. Left-hand circular polarization is standard, but right-hand circular polarization is available as well. This antenna is ideally suited for electronic support measure applications due to its unit-to-unit uniformity and broadband frequency characteristics.

ELECTRICAL	
Frequency range	8.0 – 18.0 GHz
VSWR	-2.0 dBli at 8 GHz 0 dBli at 9 GHz +1 dBli from 12 to 18 GHz
Gain	50 ohms
Gain tracking	±0.5 dB on axis
Beam width (3 dB)	75° ±15° typical
Polarization	Circular
Axial ratio boresight	≤1.0 dB
±45°	≤3.0 dB
Squint	Typically ±5°
Power handling	1 W CW
MECHANICAL	
Connector	SMA female, inline with boresight
Weight	2.0 oz.
Design specification	25 G vibration
Finish	Semi-gloss black enamel, Color No. 27038
Option	Phase and amplitude matched pairs available. Specify LHCP or RHCP



KEY FEATURES

- > Electronic support measure/radar warning receiver (ESM/RWR) applications
- > Very lightweight (2 ounce) aperture
- > 8-18 GHz frequency coverage
- > RHCP or LHCP options

For further details and specifications, contact the factory at antenna.info@L3Harris.com

Рис. 10. Параметры спиральной антенны «Harris» на диапазон 8–18 ГГц

Назначение данной антенны не раскрывается подробно, но, вероятно, для управления дронами, либо для их обнаружения. Обычно, в данной полосе частот находится видеосигнал с камер БПЛА.

Другая портативная антенна «Harris», на диапазон 8–18 ГГц (рис.10), имеет круговую поляризацию (левую или правую, по выбору), и применяется в приёмниках предупреждения об облучении радиолокатором. Антенна представляет собой спиральную конструкцию.

Проблемы разработки

Основная трудность при создании эффективных сверхширокополосных антенн – устранение или уменьшение дробления лепестка ДН, чтобы он во всём частотном диапазоне был направлен в горизонт. Она тесно связана с проблемой согласования антенны во всей полосе рабочих частот.

Авторами изучались различные перспективные способы согласования полотна антенны, например, [1], [2], [3]. Но пока согласование с помощью трансформатора (под трансформатором здесь понимается не только устройство, полученное намоткой на ферритовом сердечнике, но и различные согласующие LC-цепи [4]), как самое практичное, применяется в подавляющем большинстве сверхширокополосных антенн для портативных радиостанций, работающих в МВ и ДМВ1 диапазонах. Как правило, трансформатор преобразует 200-омный импеданс полотна в 50-омный импеданс, соответствующий порту питания антенны. Соответственно, вместе с активной составляющей и реактивная часть импеданса полотна уменьшается в сторону порта антенны. Но для того, чтобы активная составляющая импеданса излучателя в большей части диапазона была около 200 Ом, нужно выбирать длину полотна, которая значительно превышает $\frac{1}{4}$ длины волны [5].

Тогда и возникает проблема сохранения правильной ДН, чтобы её основной лепесток был направлен в горизонт во всём диапазоне частот.

Из теории распределения тока вдоль излучателя известно¹⁰, что искомая форма ДН в угломестной плоскости получается при условии, что длина излучателя (несимметричного штыря или одного из плеч диполя) не превышает $\frac{5}{8}$ длины волны. При дальнейшем увеличении размера на поверхности излучателя появляются противофазные токи, и основной лепесток ДН начинает отклоняться от горизонта и делиться на побочные лепестки. При значительном увеличении длины излучателя, неизбежном в сверхширокополосной антенне

портативной радиостанции (по крайней мере, на диапазонах МВ и ДМВ1), ДН дробится на множество лепестков и получается «изрезанной».

Таким образом, при использовании одного излучателя в широком диапазоне частот, ДН только в нижней части диапазона сохраняет нужную форму, а с ростом частоты становится многолепестковой и коэффициент усиления в горизонт значительно падает, на некоторых частотах – до двухзначных отрицательных значений.

Опыт «НПО АНГСТРЕМ»

Для разработки сверхширокополосных антенн по современным требованиям у специалистов АО «НПО АНГСТРЕМ» накоплен достаточный опыт, и имеются свои «фирменные» ноу-хау. В том числе, – оформленные патентами на изобретения и полезные модели для конкретных типов антенн.

Разработчиками предложены несколько методов, которые по отдельности или в сочетании могут решить описанную выше проблему:

- Увеличение диаметра излучателя до приемлемых значений. Это расширяет полосу согласования и несколько укорачивает физическую длину излучателя по отношению к длине волны. При этом используется ступенчатая конструкция излучателя¹¹, что смещает фазу тока в нужной точке вдоль излучателя и частично устраняет появление противофазных участков.
- Использование нескольких, коаксиально или аксиально расположенных излучателей¹², каждый из которых работает в своей полосе частот, вплоть до разделения на отдельные антенны, с применением (в случае необходимости) диплексера (для варианта из 2-х излучателей) в основании антенны, для работы на один общий порт.
- Применение не только согласующего трансформатора¹³, но и отдельной цепи согласования¹⁴ для нижней части диапазона, что уменьшает необходимую длину полотна. В разработанном СУ не содержится резисторов или реактивных элементов с заметными активными потерями.

Все перечисленные методы могут применяться для создания антенн с несколькими поддиапазонами, что является актуальным сегодня. В частности, был разработан и испытан прототип трёхдиапазонной антенны.

¹¹ Патент RU2629893

¹² Патент RU2634801

¹³ Лондон С. Е., Томашевич С. В. Справочник по высокочастотным трансформаторным устройствам, М., Радио и связь, 1984, с. 14–48

¹⁴ Б. В. Чернышев. Широкополосное согласование укороченных антенн. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. № 7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul17/1/text.pdf>

¹⁰ Кубанов В. П., Ружников В. А., Сподобаев М. Ю., Сподобаев Ю. М. Основы теории антенн и распространения радиоволн: Учебное пособие / Под ред. В. П. Кубанова. – С.: ИНУЛ-ПГУТИ, 2016., С. 78–81.

Постановка задачи

Создание антенны с 3-мя поддиапазонами на востребованных участках МВ и ДМВ диапазонов: 70–80 МГц, 160–180 МГц, 400–490 МГц.

Для решения была предложена следующая схема построения антенны (рис.11):

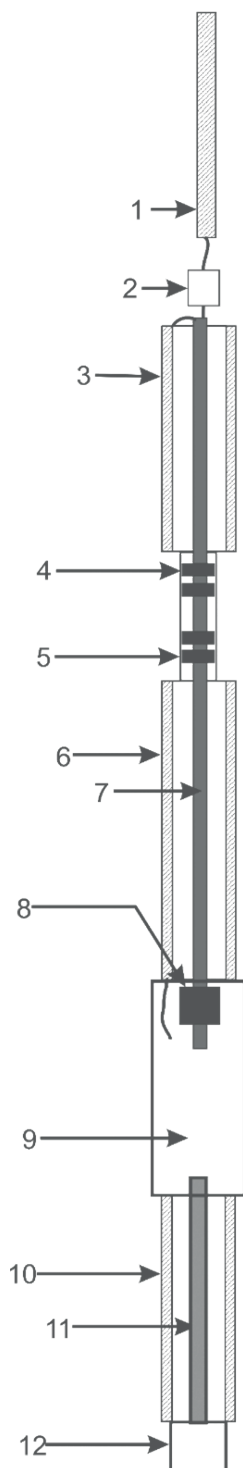


Рис. 11. Эскиз конструкции трёхдиапазонной антенны

1, 3 – плечи дипольного излучателя, работающего в 2-х верхних поддиапазонах (160–180 МГц и 400–490 МГц). В качестве нижнего плеча диполя 3 используется отрезок трубки, через который проложен коаксиальный кабель питания диполя (7).

Согласование диполя выполнено с помощью СУ в виде Г-образного LC-звена (2). На кабеле (7) после выхода его из трубки (3) сформированы два дросселя (кабель несколькими витками намотан на ферритовое кольцо (4). Ниже сформирован ещё один аналогичный дроссель (5), после которого кабель заходит внутрь тручатого излучателя 6, который работает в поддиапазоне 70–80 МГц как несимметричный штырь. На выходе излучателя (6) кабель (7), после ещё одного дросселя (8), приходит на плату диплексера (9), на которой также расположена согласующая катушка индуктивности для излучателя (6), поскольку излучатель (6) несколько укорочен по отношению к четверти длины волны.

Таким образом, на поддиапазоне 70–80 МГц излучателем является укороченный (600 мм) несимметричный штырь, а на поддиапазонах 160–180 и 400–490 МГц – диполь, имеющий длину плеч, компромиссную между четвертями длин волн на этих поддиапазонах (около 300 мм).

- Назначение дросселей (4, 5, 8) – отсечка токов по внешней стороне оплётки кабеля.
- Диплексер (9) объединяет излучатели (1, 3, и 6) и выводит их общее, изначально разделённое по частоте, питание, через коаксиальный кабель (11) на антенный соединитель (12).
- Заградительный интервал диплексера находится в пределах 100–130 МГц.
- Коаксиальный кабель (11) проходит внутри гибкой ножки («гусиной шейки»), необходимой для защиты антенного соединителя от поломок при изгибе антенны.

На рис. 11 не показаны крепёжные детали, необходимые для механической прочности антенны.

- Моделирование было выполнено с помощью ПО Ansys HFSS.
- Расчётные параметры антенны показаны на рис. 12, 13, 14, 15.

Для поддиапазонов 160–180 и 400–490 МГц моделировался коэффициент усиления в горизонт (излучатель на этих участках дипольный, и поднят выше головы оператора):

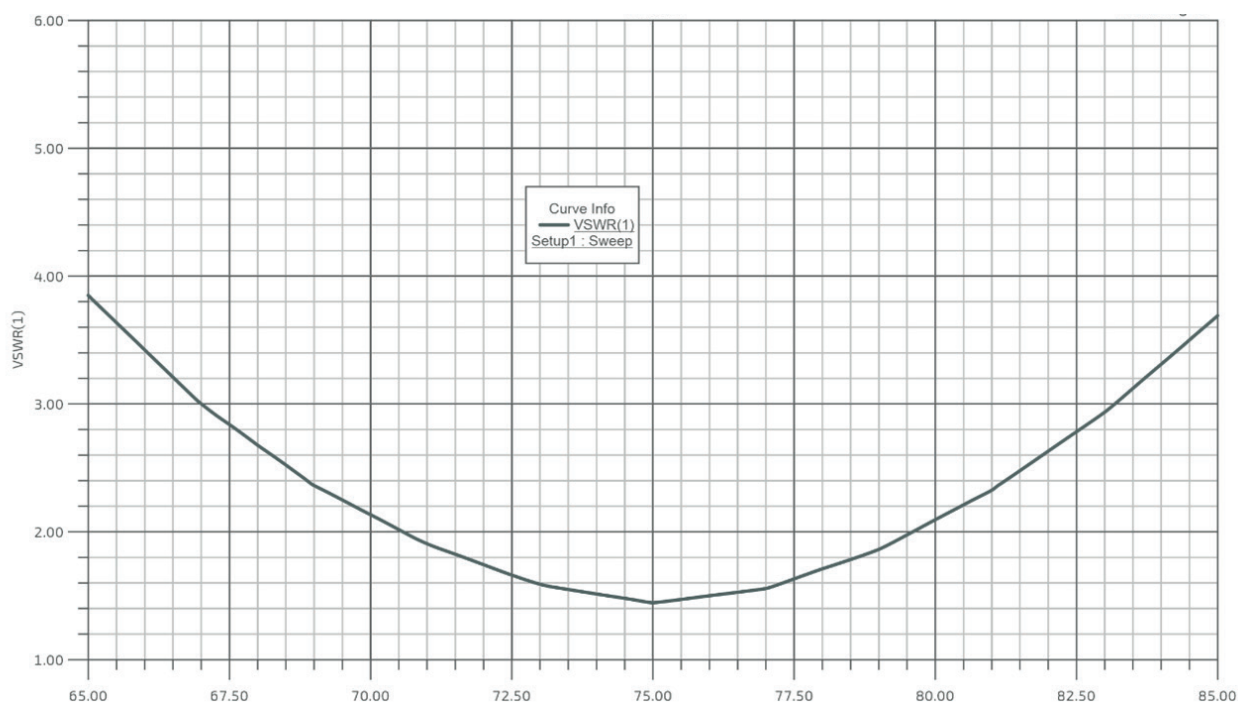


Рис. 12. КСВН на поддиапазоне 70–80 МГц

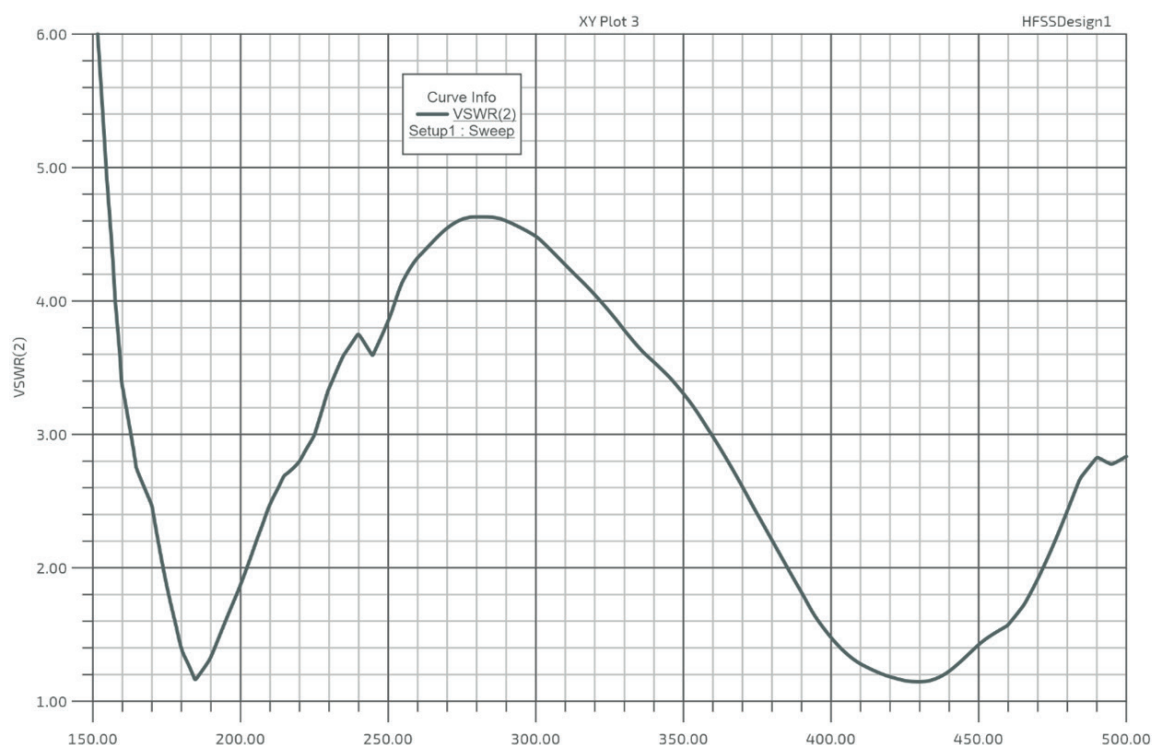


Рис. 13. КСВН на участках 160–180 и 400–490 МГц

Поскольку на участке 70–80 МГц в качестве излучателя применён укороченный несимметричный штырь, можно сделать вывод, что ДН по азимуту в реальных условиях может быть

несколько искажена на поддиапазоне 70–80 МГц. Поэтому, отдельно для данного диапазона ДН по азимуту моделировалась на компьютере, в модели присутствовало условное тело оператора.

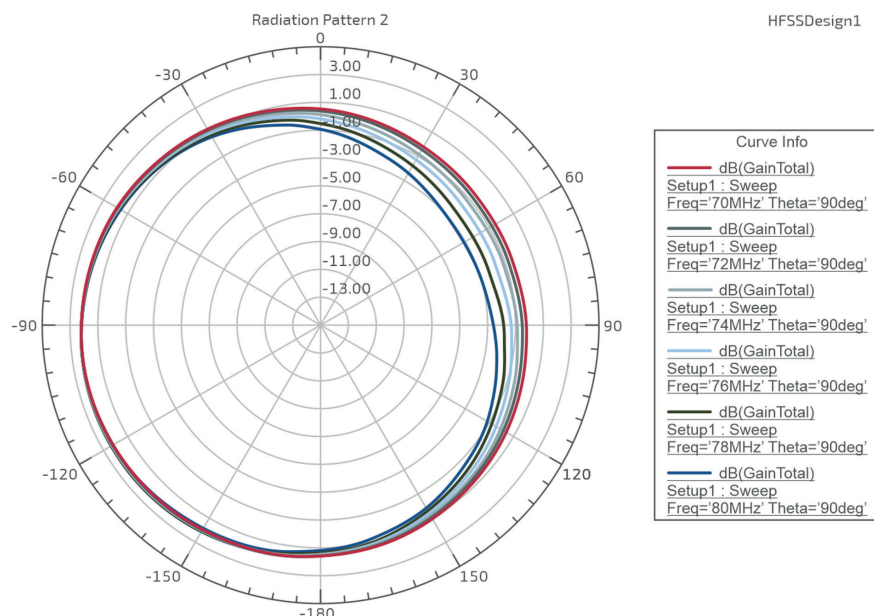


Рис. 14. ДН по азимуту на участке 70–80 МГц, с учётом тела оператора

Для поддиапазонов 160–180 и 400–490 МГц моделировался коэффициент усиления в го-

ризонт (излучатель на этих участках дипольный, и поднят выше головы оператора):

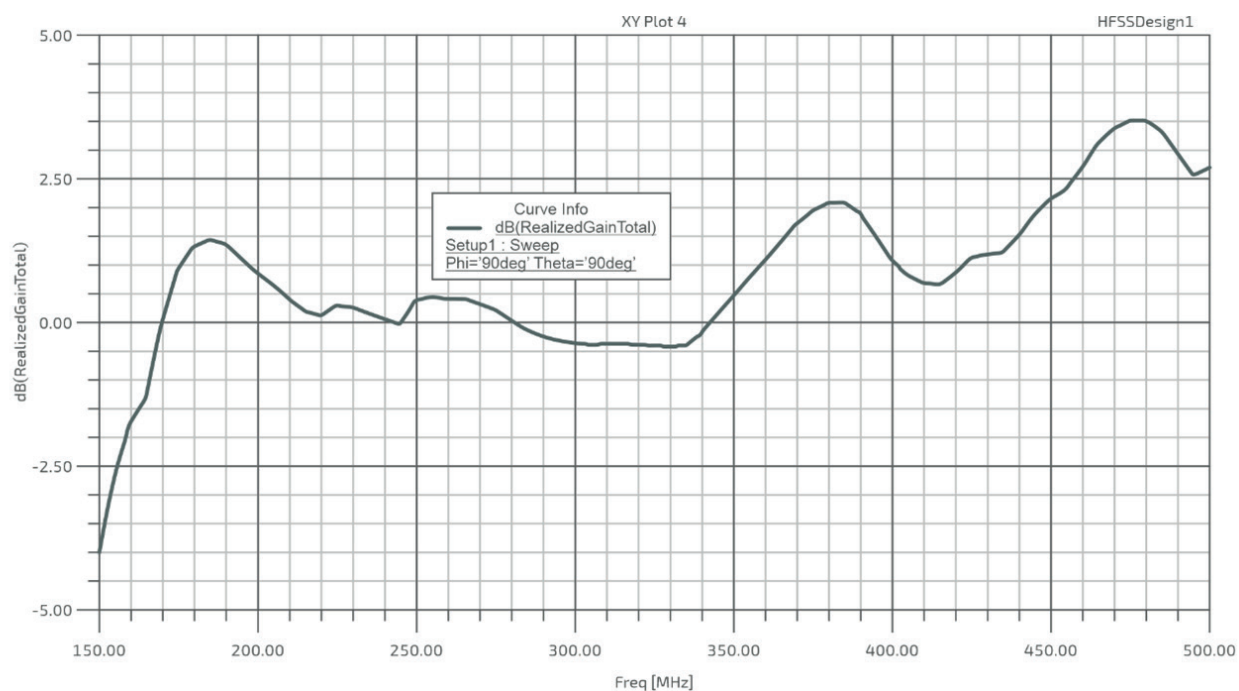


Рис.15. КУ в горизонт на участках 160–180 и 400–490 МГц

Был построен макет антенны для практических измерений. Измеренные графики КСВН следующие (рис. 16, 17). Измеренные значения

достаточно близки к полученным результатам моделирования.

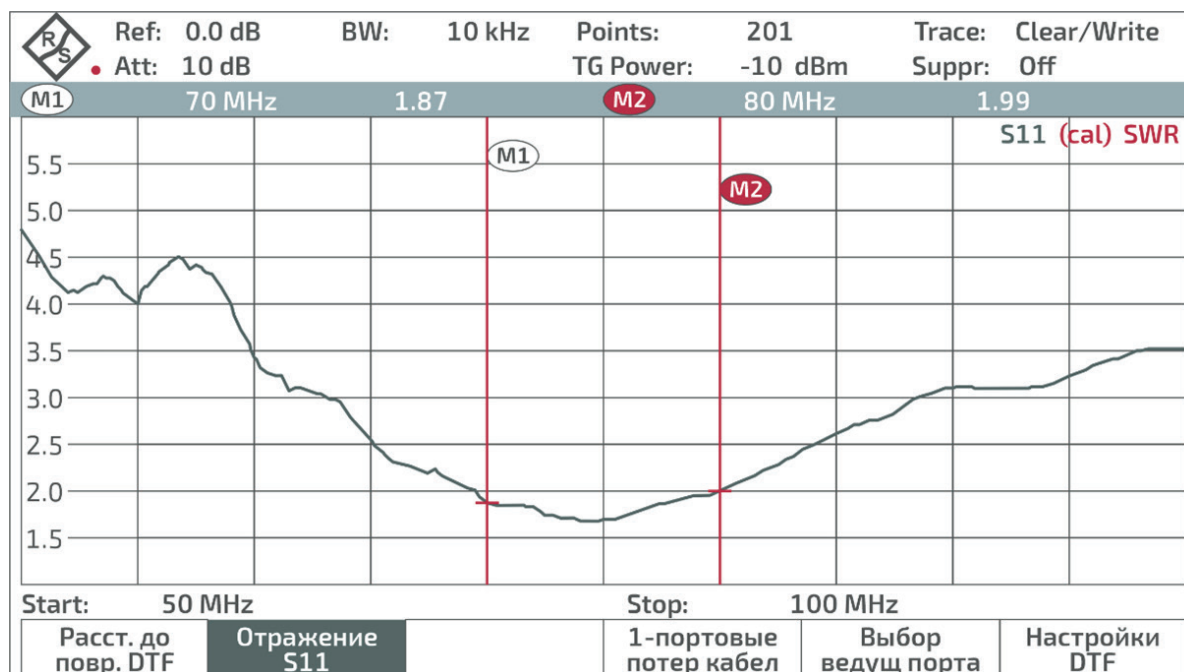


Рис. 16. Измеренный КСВН на участке 70–80 МГц

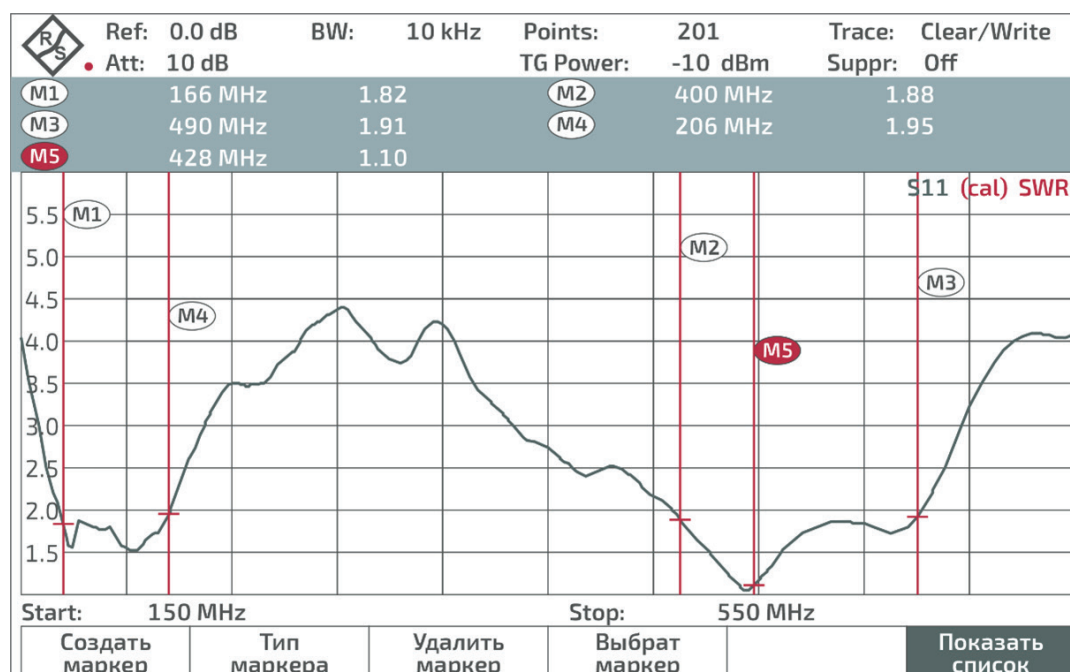


Рис. 17. Измеренный КСВН на участках 160–180 и 400–490 МГц

Проведены измерения КУ в полевых условиях, на макете антенны, установленном на корпусе носимой радиостанции, закреплённом на туловище оператора. Измерения проводи-

лись по 3-м направлениям по азимуту. Результат (рис.18) показал, что такая схема построения антенны вполне перспективна для практического применения.

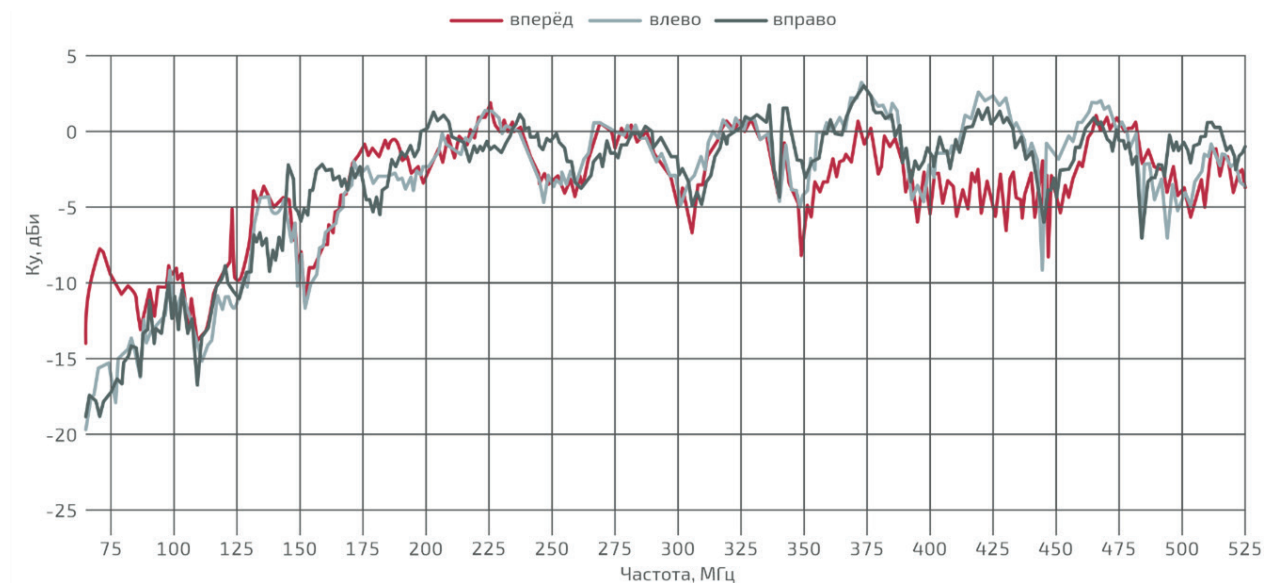


Рис.18. Измеренный КУ макета трёхдиапазонной антенны

Вопрос неравномерности ДН по азимуту при практическом использовании портативных и носимых радиостанций вполне заслуживает отдельной статьи.

Необходимо также учитывать, что на нижнем поддиапазоне использовался укороченный по отношению к четверти длины волны излучатель. С целью уменьшения общей высоты антенны. При построении подобной антенны на более высокочастотные поддиапазоны все излучатели могут быть выполнены полноразмерными.

Выводы

1. Обзорное исследование новинок в ассортименте основных производителей антенн для портативных радиостанций тактического звена показало следующее:

- Частотный диапазон необходимых антенн расширился вплоть до 18 ГГц.
- В стремлении улучшить характеристики своих антенн, зарубежные производители вынужденно ищут компромисс между габаритами, шириной полосы частот, количеством поддиапазонов, коэффициентом усиления в направлении горизонта. Каждая фирма предпочитает выбирать целевым один-два из указанных параметров в конкретной модели. В итоге это приводит к очень большому ассортименту выпускаемых изделий.

2. Анализируя собранную информацию, с учётом опыта собственных наработок, разработчики «НПО АНГСТРЕМ» напротив, стремятся получить как можно больше оптимизированных параметров на каждом спроектированном изделии, при значительно меньшем разнообразии антенн.

Одним из возможных решений видится разработка связанной антенны с тремя поддиапазонами, которые лежат в пределах наиболее востребованных участков МВ и ДМВ диапазонов. Компьютерное моделирование и практические измерения макета выявили перспективность построения трёхдиапазонной антенны путём объединения нескольких антенн с аксиально расположенными излучателями.

3. Для полного перекрытия всех необходимых частотных поддиапазонов необходима дополнительная разработка одной — двух антенн, предназначенных для специальных задач, таких как управление БПЛА и их обнаружение, или работа детекторов облучения сигналом носимой РЛС.

4. Ещё одна насущная потребность — аксессуар для портативных антенн, позволяющие выносить их за пределы укрытий и устанавливать на различные виды опор (мачт), с возможностью формирования направленности по азимуту, когда это необходимо (рефлекторы, директоры и т. п.).

Литература

1. Буянтуев Б. С. Разработка сверхширокополосных антенн для создания сверхскоростных систем беспроводной передачи больших объемов данных для устройств мобильной связи // Молодой ученый. — 2020. — № 36 (326). — С. 1–4.
2. Ташлинцев Д. А., Попов А. А. Сверхширокополосная высокоэффективная спиральная антенна с резонатором // Трибуна учёного. — 09/2022, URL: <https://tribune-scientists.ru/articles/2622> (дата обращения 27.01.2025).

3. Kumar, O. P.; Kumar, P.; Ali, T.; Kumar, P.; Vincent, S. Ultrawideband Antennas: Growth and Evolution. *Micromachines* 2021, 13(1): 60. <https://doi.org/10.3390/mi13010060> Academic Editor: Piotr Kurgan (дата обращения 27.01.2025).
4. Майненгер К. А., Фомченко А. В. Методика аналитического расчета широкополосного согласующего устройства для антенны типа «наклонный луч» // *Техника радиосвязи*. 2024. Выпуск 1 (60). С. 17–28.
5. Уваров А. В. Физические ограничения сверхширокополосных антенн // *Физические основы приборостроения*. 2021. Т. 10. № 2(40). С. 64–73. DOI: 10.25210/jfop-2102-064073.

ULTRA-WIDEBAND ANTENNAS FOR PORTABLE AND MANPACK RADIO STATIONS OF TACTICAL UNITS

Alshenetsky V. A.¹⁵, Kruglov A.S.¹⁶

Keywords: radio communication, frequency range, subrange, wide bandwidth, gain, radiation pattern, single-ended pin, dipole.

Abstract

The purpose of the work is to analyze modern foreign antennas for portable and portable tactical radio stations and to determine ways for the development of domestic analogues with superior characteristics.

Research methods: comparison of antenna parameters according to the data of the main manufacturers available on the market for the armies of NATO countries, as well as computer modeling and practical tests of a prototype of a domestic three-band antenna.

Results of the study: it is shown that a) the range of portable antennas offered by foreign manufacturers has significantly expanded, due to the emergence of new, higher frequency ranges, which is caused by the mass use of electronic warfare and radar, UAVs and portable radars; b) in an effort to improve the characteristics of their antennas, foreign manufacturers are forced to look for a compromise between dimensions, frequency bandwidth, gain in the direction of the horizon, etc. This, as a result, leads to a large assortment of antennas. In order to reduce it, antennas with two or more subbands appear; c) it is noted that the developers of NPO ANGSTREM, on the contrary, strive to obtain as many optimized parameters as possible on each antenna with a much smaller assortment. In particular, the development of combined antennas consisting of separate emitters with separate matching devices, and combined into a single design, with a common power port, which is a new method of reducing the range of antennas, turned out to be a very promising direction.

Practical usefulness lies in the proposed method for creating multi-band antennas of a combined type, tested on a prototype of a three-band antenna.

References

1. Bujantuev B. S. Razrabotka sverhshirokopolosnyh antenn dlja sozdaniya sverhskorostnyh sistem besprovodnoj peredachi bol'shih ob'emov dannyh dlja ustroystv mobil'noj svyazi // *Molodoj uchenyj*. – 2020. – № 36 (326). – С. 1–4.
2. Tashlincev D. A., Popov A. A. Sverhshirokopolosnaja vysokoeffektivnaja spiral'naja antenna s rezonatorom // *Tribuna uchjonogo*. – 09/2022, URL: <https://tribune-scientists.ru/articles/2622> (data obrashheniya 27.01.2025).
3. Kumar, O. P.; Kumar, P.; Ali, T.; Kumar, P.; Vincent, S. Ultrawideband Antennas: Growth and Evolution. *Micromachines* 2021, 13(1): 60. <https://doi.org/10.3390/mi13010060> Academic Editor: Piotr Kurgan (data obrashheniya 27.01.2025).
4. Majnenger K. A., Fomchenko A. V. Metodika analiticheskogo rascheta shirokopolosnogo soglasujushhego ustrojstva dlja anteny tipa «naklonnyj luch» // *Tehnika radiosvyazi*. 2024. Vypusk 1 (60). С. 17–28.
5. Uvarov A. V. Fizicheskie ogranichenija sverhshirokopolosnyh antenn // *Fizicheskie osnovy priborostroeniya*. 2021. Т. 10. № 2(40). С. 64–73. DOI: 10.25210/jfop-2102-064073.



¹⁵ Vladimir A. Alshenetsky, Leading Engineer, JSC «NPO Angstrom», Moscow, Russia, E-mail: alshenetskiy@npo-angstrom.ru

¹⁶ Artem S. Kruglov, Leading Engineer, JSC «NPO Angstrom», Moscow, Russia, E-mail: KruglovAS@npo-angstrom.ru