

Тема № 3. Антенны и распространение радиоволн.

Занятие № 3. Антенны войсковых радиостанций

Учебные вопросы:

- 1. Назначение, классификация и основные характеристики антенн.**
- 2. Антенны для связи поверхностными радиоволнами.**
- 3. Антенны для связи пространственными радиоволнами.**

ВВЕДЕНИЕ

Антенны относятся к пассивным компонентам средств связи и конструктивно представляют собой сочетание проводников и диэлектриков. Наряду с выполнением основных функций излучения и приема радиоволн современные антенны могут выполнять важные функции пространственной фильтрации радиосигналов и обеспечения направленности действия радиосистем.

В большинстве случаев антенна радиостанции служит одновременно и для приема, и для передачи, но в специальных случаях для этого могут использоваться отдельные антенны.

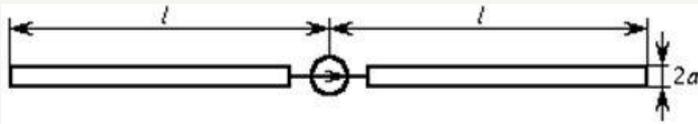
Конструктивное выполнение антенн существенно зависит от диапазона применяемых радиоволн.

1. НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН

Устройства, предназначенные для излучения и приема электромагнитных волн, называются антеннами.

Передающая антенна под воздействием ВЧ токов и полей, сосредоточенных в выходных цепях передатчика, создает в пространстве электромагнитное поле в виде электромагнитных волн. В свою очередь, приемная антенна под воздействием поля приходящей электромагнитной волны создает токи, сосредоточенные во входных элементах приемника.

Простейшей антенной является элементарный электрический диполь (вibrator Герца, полуволновой vibrator), то есть короткий отрезок провода, который на большом в сравнении с собственной длиной расстоянии образует в свободном пространстве поле излучения в виде электромагнитной волны.



Длина волны этих колебаний равна удвоенной длине провода антенны $\lambda = 2L$, т.е. вдоль провода укладывается одна полуволна тока.

Антенну, длина которой $L = \lambda / 2$ и называют полуволновым vibratorом.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН

- **входное сопротивление** – определяется как отношение комплексной амплитуды входного напряжения к комплексной амплитуде входного тока и содержит активную и реактивную составляющие:

$$Z_A = R_A + X_A$$

- **коэффициент полезного действия** (КПД) антенны - отношение излучаемой мощности к мощности, подводимой к антенне от передатчика:

$$\eta_A = P_{\text{изл}} / P_{\text{прд}}$$

- **коэффициент направленного действия** (КНД) антенны - число, показывающее, во сколько раз нужно было бы увеличить мощность передатчика при использовании ненаправленной антенны вместо данной направленной, чтобы величина сигнала в точке приема осталась неизменной:

$$D = P_{\text{ненапр}} / P_{\text{напр}}$$

- **коэффициент усиления антенны** определяется как произведение КПД и КНД:

$$G = \eta_A D = P_{\text{ненапр}} / P_{\text{прд}}$$

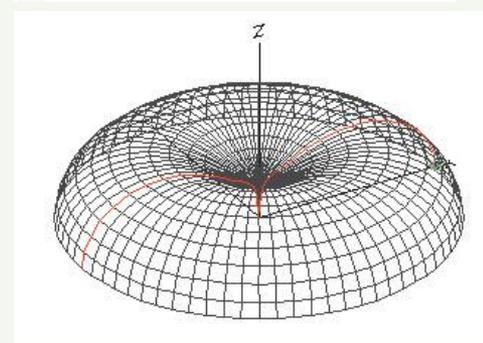
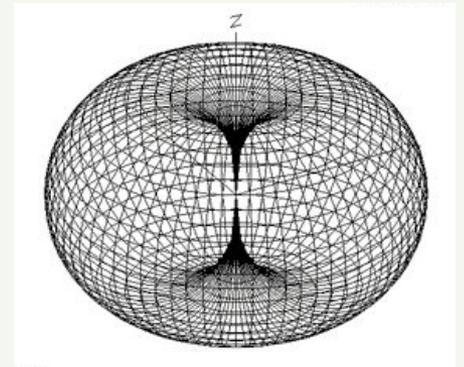
КУ показывает, во сколько раз мощность колебаний, излучаемых ненаправленной антенной больше мощности, поступающей от передатчика в реальную (направленную) антенну при одной и той же амплитуде $E_{\text{пр}}$ в приемной антенне. Коэффициент усиления антенны дает возможность оценить, во сколько раз можно уменьшать мощность передатчика при той же дальности связи за счет применения направленной антенны.

Перечисленные характеристики относятся как к передающим, так и к приемным антеннам, что объясняется свойством обратимости, вытекающем из принципа взаимности. Согласно этому принципу антенна, работающая на прием, имеет такие же характеристики, как и при использовании ее в качестве передающей. Следовательно, одну и ту же антенну можно использовать как приемо-передающую.

- **диаграмма направленности антенны** - характеризует интенсивность излучения антенной в различных направлениях и выражает зависимость амплитуды напряженности электрической составляющей электромагнитного поля на некотором расстоянии от направления излучения.

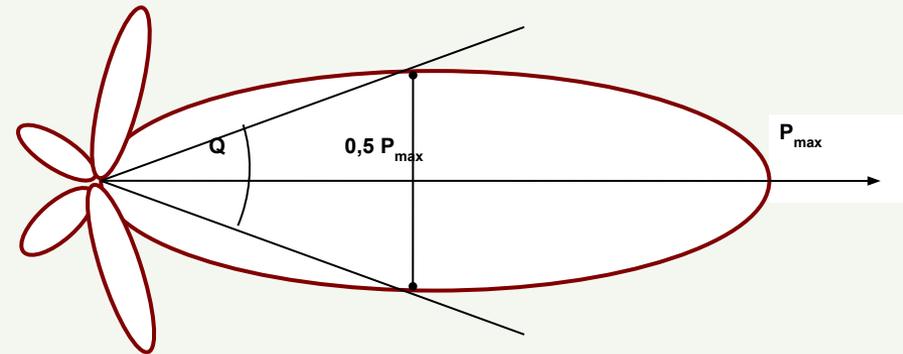
Антенна является направленной, если она создает неодинаковую величину напряженности поля излучения в равноудаленных от нее точках пространства.

Наиболее полное представление о распределении интенсивности излучения дают пространственные диаграммы направленности, однако они сложны при графическом изображении. Поэтому для определения характеристики направленности антенны в большинстве случаев ограничиваются снятием ее диаграмм направленности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях поляризации E и H . В зависимости от ориентации антенны относительно поверхности земли плоскость E может быть горизонтальной или вертикальной.



Т.о., кривая, изображающая направленность излучения антенны в горизонтальной или вертикальной плоскости, называется **диаграммой направленности антенны**.

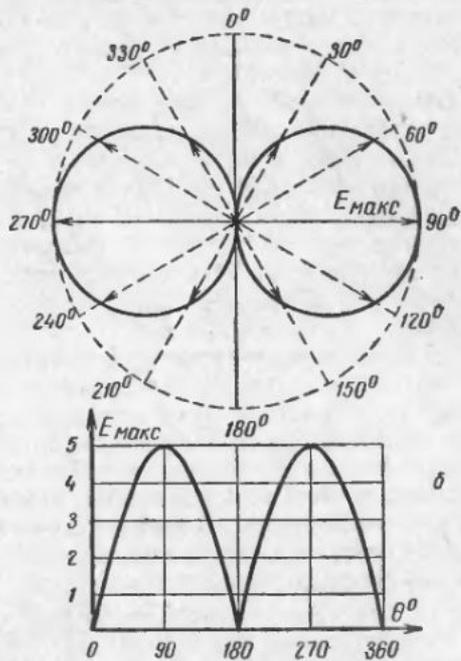
У любой реальной антенны имеется направление **максимального излучения**, называемое **главным направлением** диаграммы. ДН в большинстве случаев имеет несколько максимумов, отделенных друг от друга минимумами.



Область, примыкающая к максимуму и расположенная между двумя минимумами, называется **лепестком**.

Лепесток, соответствующий максимальному излучению, называется **главным (основным)**, а другие лепестки – **боковыми**.

Шириной диаграммы направленности называется угол Q , в пределах которого мощность излучаемых радиоволн уменьшается не более чем в два раза по сравнению с мощностью, излучаемой в направлении максимального излучения антенны.

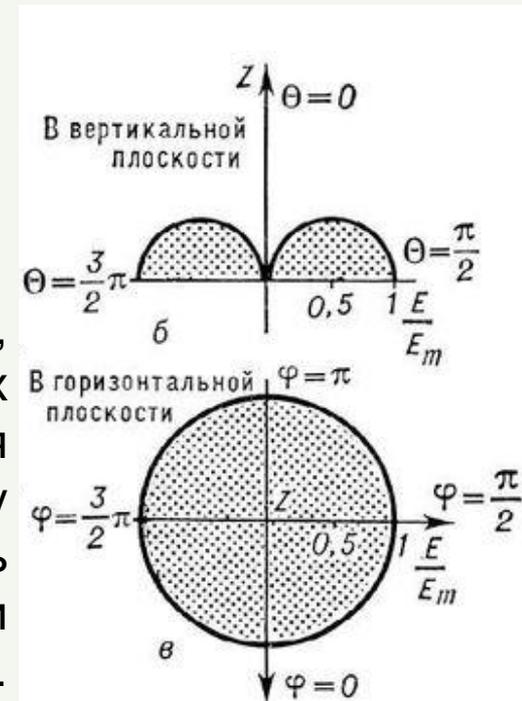


Диаграммы направленности строят в полярной (рис. 2 а) или прямоугольной (декартовой) (рис. 2 б). системах координат. (На этом рисунке изображена диаграмма направленности симметричного вибратора в E -плоскости.)



Рис. 2. Диаграмма направленности антенны в полярной (а) и прямоугольной (б, в) системах координат

Диаграммы направленности, выполненные в полярных координатах (а), отличаются большей наглядностью, поскольку дают возможность представить изменение интенсивности излучения в пространстве.



КЛАССИФИКАЦИЯ АНТЕНН

по назначению: а) *передающие, приемные, приемно-передающие*
б) *для радиосвязи*, радиорелейной и тропосферной связи

по диапазону использования: длинноволновые, *коротковолновые*,
ультра коротковолновые, дециметровые, сантиметровые...

по диапазонным свойствам: узкополосные, широкополосные,
частотно независимые

по принципу действия и построения:

- **проволочные** (линейные) - выполняются из тонких, по сравнению с их длиной и длиной волны, проводников: **симметричные и несимметричные**, вибраторные, рамочные, спиральные, ромбические и однопроводные. Применяются на МВ и КВ.
- дифракционные: щелевые, полосковые, волноводно-рупорные, линзовые, зеркальные, стержневые, плоскостные, а также комбинированные (сочетание нескольких типов излучателей, например рупорно-зеркальные). Эти антенны используются на ДМВ и СМВ.



***Рупорно-параболические антенны
радиорелейных станций***

по свойствам направленности:

- направленные
- ненаправленные:
 - кругового (равномерного) излучения вдоль земли
 - зенитного излучения
 - комбинированного излучения (в зенит и вдоль земли)

по способу использования:

- стационарные
- полевые
- бортовые (устанавливаются на сухопутных, водных, летательных и других подвижных объектах)

ВЫВОД

Антенны военных радиостанций должны иметь ограниченные габариты, небольшой вес, легко устанавливаться, легко сниматься, не должны демаскировать радиостанцию и пункты управления.

Для каждого типа станции выбирается свой оптимальный тип антенны. Поэтому антенны военных радиостанций отличаются многообразием типов от самых простейших до высокоэффективных.

В полевых условиях выбор антенны и умелое ее использование являются важнейшими факторами, влияющими на дальность и надежность связи.

Имеющаяся радиостанция, как правило, не поддается изменению в процессе эксплуатации и только выбор антенны и рабочей частоты дает возможность в конкретных условиях добиваться необходимых результатов.

2. АНТЕННЫ ДЛЯ СВЯЗИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ РАДИОВОЛНАМИ.

Возможность осуществления радиосвязи зависит не только от свойств антенн, мощности передатчика и чувствительности приемника, но и от свойств среды, в которой распространяются радиоволны.

Если пункты передачи и приема расположены на поверхности земли, то земля будет существенно влиять на напряженность поля в точке приема. В зависимости от длины волны и свойств применяемых антенн роль земной поверхности и других факторов может быть различной. При относительно небольших расстояниях и высотах расположения антенн, можно пренебречь влиянием ионосферы и тропосферы и принимать во внимание лишь волны, распространяющиеся вдоль земной поверхности, то есть поверхностные или земные волны.

Важным положительным качеством радиосвязи поверхностными радиоволнами является устойчивость напряженности поля в месте приема, т.е. ***поле земной волны практически остается неизменным независимо от времени суток, года, метеорологических и космических явлений.***

Недостатком радиосвязи поверхностной волной является ограниченная дальность связи, так за счет **поглощения** радиоволн полупроводящей земной поверхностью и за счет **экранирующего действия** ее кривизны, напряженность поля **убывает** с расстоянием значительно быстрее, чем в свободном пространстве.

Дальность радиосвязи земной волной существенно зависит от параметров почвы, длины волны, выбранного типа антенн и слабо зависит от мощности передатчика.

Основные требования к антеннам, работающим земной волной:

1. Максимум излучения должен быть направлен вдоль поверхности земли.
2. Антенна должна излучать (принимать) вертикально поляризованные волны, ибо поле с горизонтальной поляризацией быстрее затухает вдоль земли.

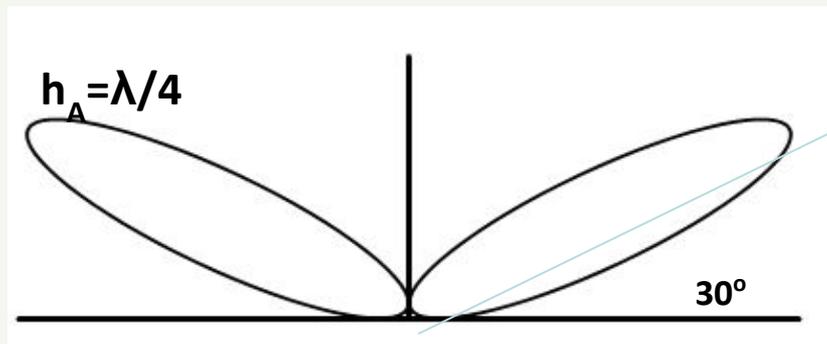
***Этим требованиям отвечают два основных типа антенн
штыревые и проволочные.***

Штыревая антенна (АШ) представляет собой **несимметричный вертикальный вибратор** и является антенной поверхностного луча, излучающей электромагнитную энергию равномерно во все стороны вдоль земной поверхности, но не излучающей в зенит.

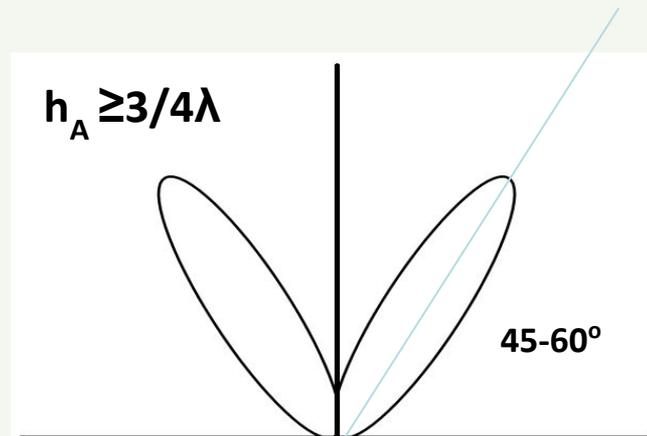
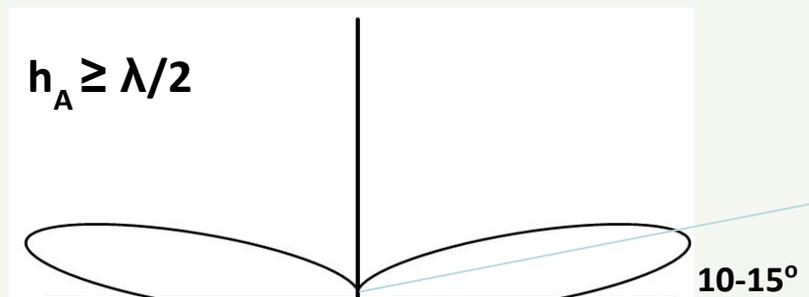
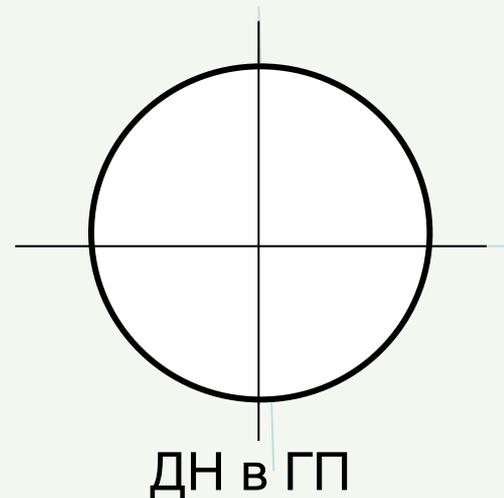
Диаграмма направленности штыревой антенны представляет собой правильную окружность (в горизонтальной плоскости) и лепесток (в вертикальной плоскости), при этом лепесток направлен под некоторым углом к земной поверхности, зависящим от свойств почвы и длины антенны. Наиболее эффективной является антенна с размерами от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ длины волны (четвертьволновой и полуволновой вибраторы). Удлинение антенны до $\frac{3}{4} \lambda$ прижимает лепесток к земле, дальнейшее удлинение, наоборот, направляет основное излучение вверх. Таким образом, применять антенну свыше $\frac{3}{4} \lambda$ не имеет смысла, так как это не ведет к улучшению излучения вдоль земли.

Штыревая антенна

Диапазон частот 1,5-108 МГц
Дальность радиосвязи до 70 км



ДН в ВП



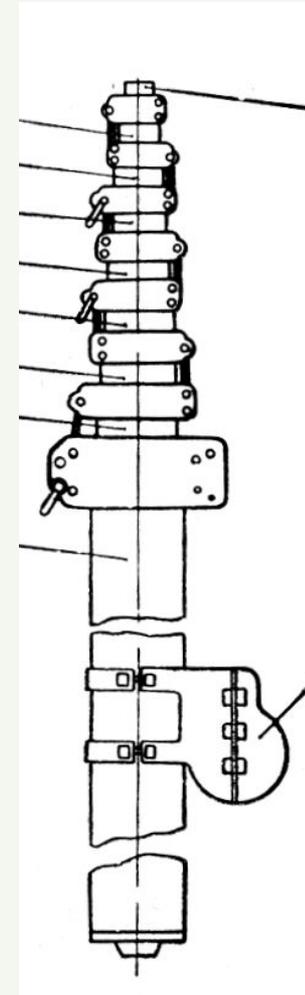


АШ-1,5 (антенна Куликова) - складная гибкая штыревая антенна длиной 1,5 м, предназначенная для использования с носимыми и возимыми средствами радиосвязи. Названа по фамилии изобретателя, Сергея Алексеевича Куликова. Антенна Куликова представляет собой набор втулок, нанизанных на стальной тросик. Верхний конец тросика закреплен в наконечнике антенны, нижний соединен с натяжным механизмом. При натянутом тросике конструкция образует прочный и гибкий электрически единый стержень, способный выдерживать достаточно большие поперечные нагрузки. Антенна крепится непосредственно к радиоаппаратуре или к бортовому кронштейну транспортного средства. При ослабленном тросике антенну можно свернуть в небольшое кольцо. Антенна Куликова широко применяется в военной технике связи. Она является основной у многих войсковых носимых КВ и УКВ радиостанций малой мощности типа Р-105М, Р-107М, Р-159, Р-168-5УН. Дальность связи до 10 км.

АШ-2,7 (комбинированная) состоит из АШ-1,5 и основания из шести 20см секций (дюралевых трубок). Применяется в тех же радиостанциях для увеличения дальности связи до 12-15 км.

АШ-1,5 и АШ-2,7 для увеличения дальности связи до 60-70км могут устанавливаться на полутелескопических или телескопических мачтах высотой 11-18м.

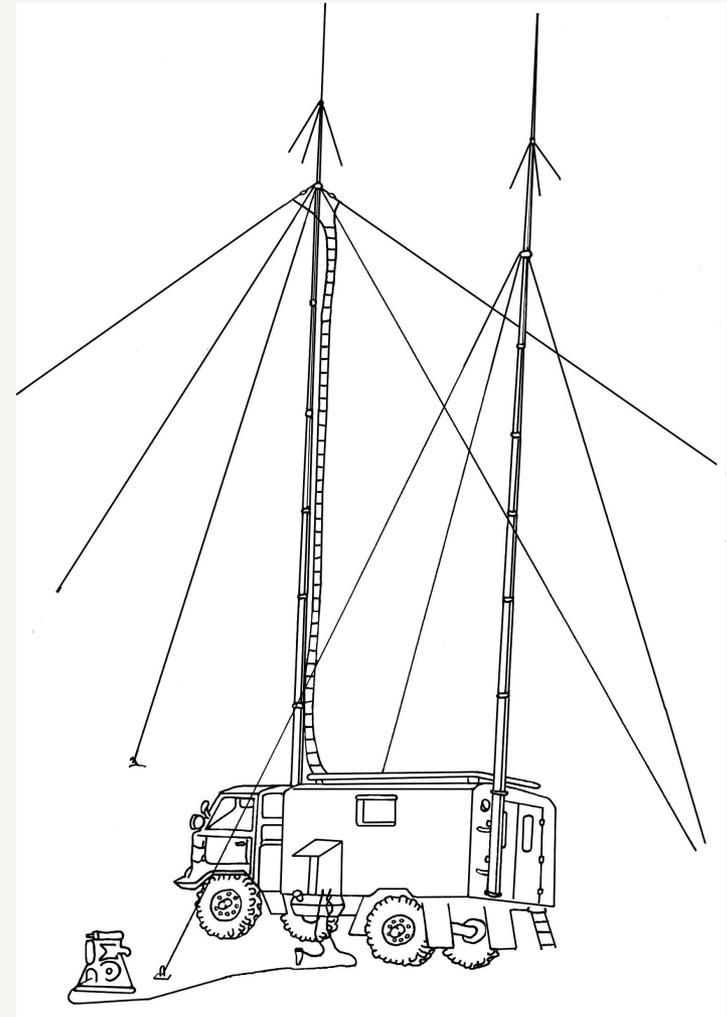
Телескопическая мачта состоит из тонкостенных дюралюминиевых труб разного диаметра. Высота мачты: в опущенном состоянии—2,7 м; в поднятом состоянии—12,1 м. Масса мачты—83 кг. В мачте имеется одно неподвижное и семь подвижных колен, входящих одно в другое, а также лебедка, установленная на основном колене мачты для подъема и опускания мачты. В поднятом состоянии ТМ крепится оттяжками, составленными из отрезков стального троса (диаметр 4 мм), разделенных между собой изоляторами. Оттяжки располагаются тремя ярусами по три оттяжки в каждом. Первый ярус оттяжек закрепляется к верху основного колена, второй - на высоте 7,3 м, третий - на высоте 10,3 м. Нижние концы оттяжек крепятся к уголковым кольям, забиваемым в землю на расстоянии 8 м от основания мачты по окружности через 120°. Входит в комплект радиостанций средней мощности и КШМ на бронебазе.



Радиостанция средней мощности
с телескопическими мачтами



Полутелескопическая мачта применяется в основном на КШМ типа Р-142Н. Состоит из одной неподвижной и шести подвижных тонкостенных дюралюминиевых труб разного диаметра, входящих одна в другую и соединяющихся между собой при помощи замков, западающих в специальные гнезда. На верхнем колене мачты имеются ушки, за которые крепятся капроновые оттяжки. Подъем мачты производится вручную, без лебедки. Масса антенны 35 кг.



АШ-1,5/11 - Антенна штыревая на мачте предназначена для связи земной волной при работе на стоянке. Конструктивно антенна состоит из гибкого штыря и составных колен по 0,3м и 0,2м общей высотой 1,5...3,6м с тремя противовесами, соединенными байонетными замками с антенной головкой. Противовесы в антенне создают эффект подстилающей поверхности, за счет чего энергия излучаемой ЭМ волны распределяется таким образом, что диаграмма направленности антенны приподнимается. Это дает возможность обеспечить связь на более дальние расстояния (до 70км) с лучшим качеством. Антенна является ненаправленной и не требует ориентировки на корреспондента. Устанавливается на вершине полутелескопической мачты высотой 11м, для развертывания которой необходима площадка 10х10м. Питание антенны осуществляется с помощью коаксиального кабеля (фидера), подключаемого одним концом к головке антенны, другим - к бортовому разъему КШМ.

АШ-4 (танковая) предназначена для связи земной волной как на стоянке, так и при движении. Конструктивно состоит из 4-х дюралевых или стальных трубок различного диаметра, соединяемых между собой с помощью специальных замковых сочленений и укрепленных на специальном кронштейне. Имеется на всех бронеобъектах, на радиостанциях средней мощности, командно-штабных машинах. Обеспечивает дальность связи до 30 км.

Антенны оборудуются механизмами подъема (МПА), которые предназначены для изменения положения штыревых антенн. Они представляют собой электромеханические устройства, с помощью которых антенны могут быть установлены в наклонное, вертикальное или транспортное положение.

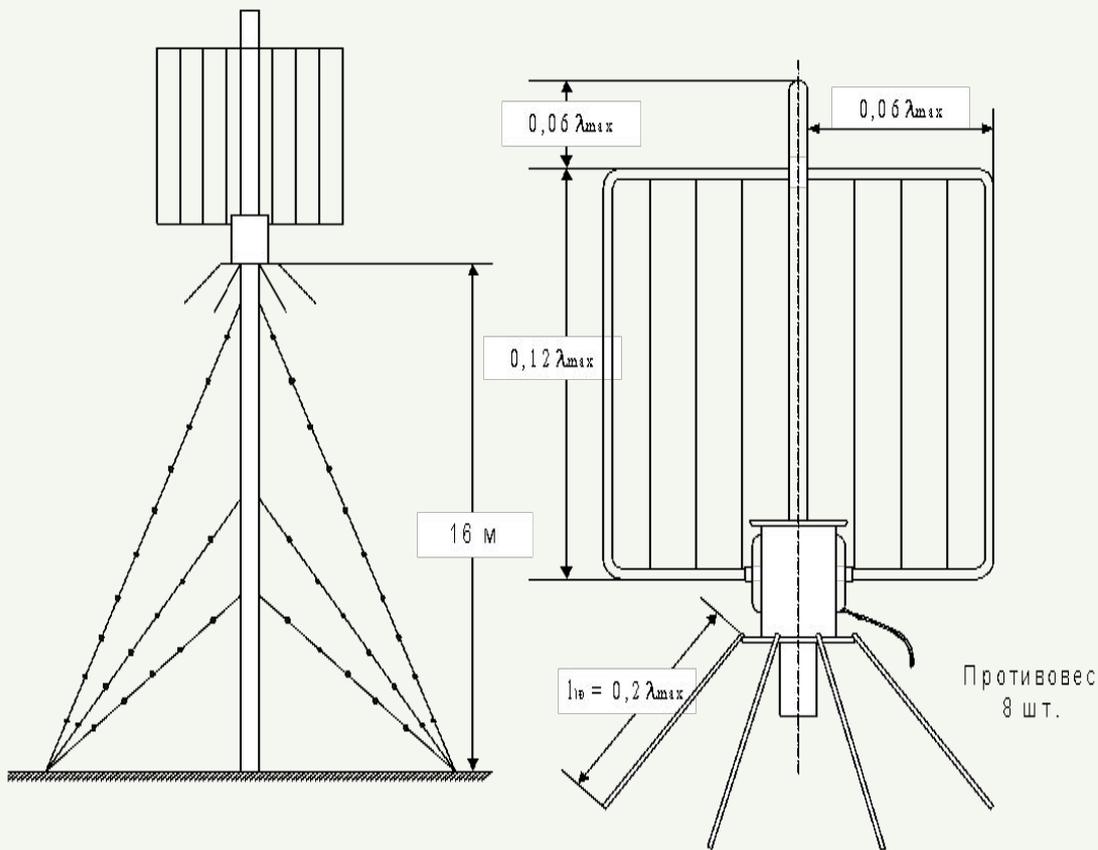


Широкодиапазонная антенна (ШДА) предназначена для обеспечения радиосвязи земной волной в диапазоне частот 30...60,0 МГц на дальности до 80 км. Антенна имеет круговое излучение с вертикальной поляризацией в горизонтальной плоскости. Исполняется в двух вариантах: в виде объемного или плоского несимметричного вертикального вибратора.

Для радиостанций средней мощности и КШМ старого парка (Р-140М, Р-145БМ, БМП-1КШ) представляет собой несимметричный объемный вертикальный вибратор, состоящий из центрального стержня длиной 2655мм, восьми стержней – вибраторов диаметром 6мм, расположенных вокруг центрального стержня и восьми противовесов длиной 2м каждый.

Для радиостанций средней мощности и КШМ нового парка (Р-161А-2М, Р-149БМР) представляет собой несимметричный плоский вертикальный излучатель с противовесами, который выполнен из алюминиевых труб различного диаметра. Излучатель состоит из штанги и двух съемных рам. Противовесы (8 штук) длиной по 2 м расположены равномерно по окружности. Антенна устанавливается на вершине телескопической мачты высотой 16м и подключается к ВЧ разъему коаксиальным кабелем РК-75 длиной 25м.

**Антенна ШДА
на телескопической мачте 12м.**



Т.о., несимметричные вертикальные антенны обеспечивают максимальное излучение вдоль поверхности земли, что и явилось причиной их широкого использования для связи земными волнами.

В горизонтальной плоскости такие антенны формируют ненаправленное (изотропное) излучение, позволяющее обеспечивать работу радиостанции в движении, в радиосети или в случаях, когда направление на корреспондента неизвестно.

Аналогичной ДН обладают и Т-образные антенны, образуемые из симметричных наклонных вибраторов.

Кроме ненаправленных несимметричных вертикальных антенн в военной технике связи нашли широкое применение направленные проволочные антенны, которые имеют диаграмму направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях, сориентированную по направлению развертывания антенны. Так, на мобильных КВ и УКВ радиостанциях в качестве направленной антенны используется **антенна бегущей волны (АБВ)**.

Антенна представляет собой изолированный медный проводник длиной $L_A = (5...7)\lambda$, что для средней рабочей частоты УКВ диапазона составит 40 м. Провод подвешивается параллельно над землей на высоте $h = (2...3)$ м в КВ диапазоне и на высоте $h = (0,5...1)$ м в УКВ диапазоне. Один конец провода подключается к радиостанции, а на другом конце включено активное сопротивление $R_n = (300...500)$ Ом с проволочными противовесами. Антенну следует всегда развертывать так, чтобы провод и противовесы были направлены в сторону корреспондента.

АБВ эффективна на сухих и очень сухих почвах, где имеется горизонтальная составляющая электрического поля E_g . Для того чтобы при работе на влажных участках местности эффективно использовать направленные свойства АБВ, применяют разновидность этой антенны Λ - лямбдаобразную антенну.

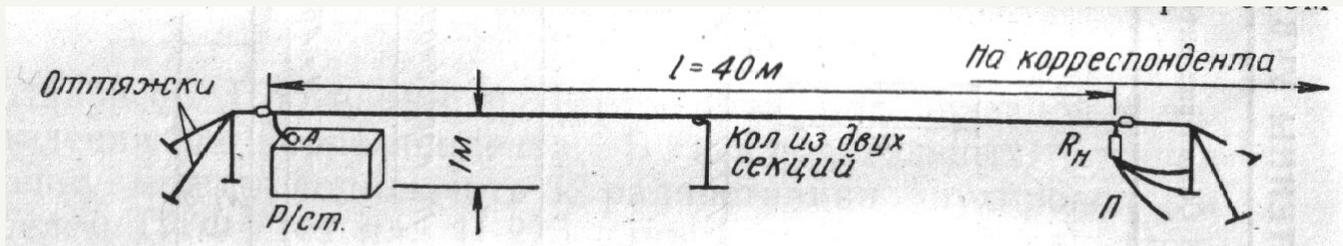


Рис. 3.6. Общий вид развернутой антенны бегущей волны

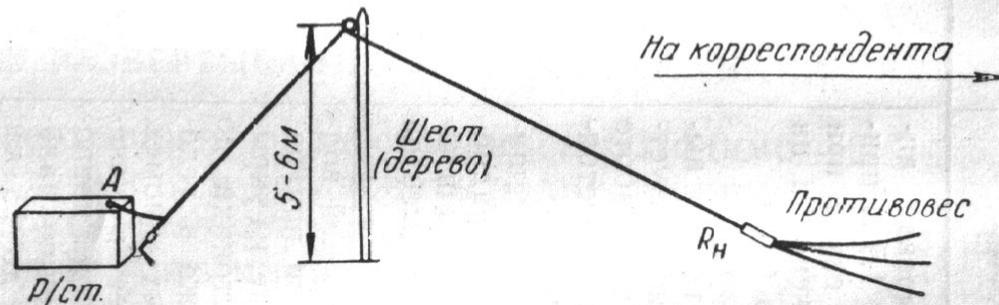
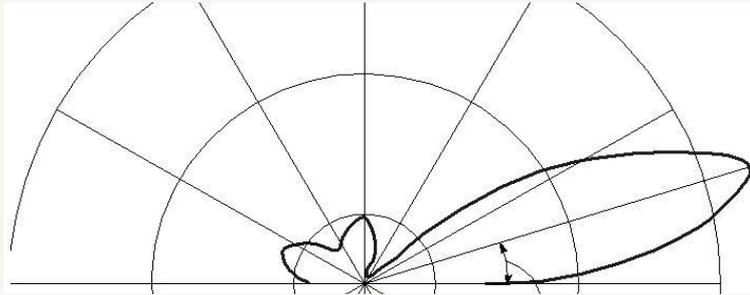


Рис. 3.7. Общий вид λ -образной антенны

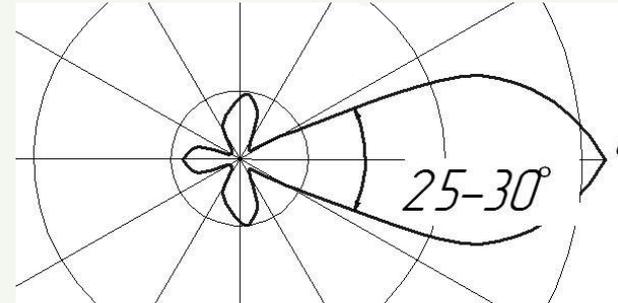
λ -образная антенна представляет собой однопроводную антенну бегущей волны, ближняя к радиостанции часть провода которой поднята над землей на высоту $0,62\lambda$, что для средней волны диапазона всех УКВ радиостанций составляет 5...6 м. В качестве опоры λ -образной антенны желательно применять деревянную мачту, при отсутствии которой можно использовать различные местные предметы (отдельно стоящие деревья, столбы, высокий забор).

ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

в ВП

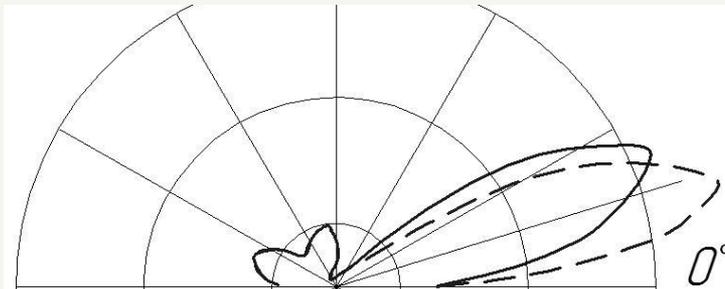


в ГП

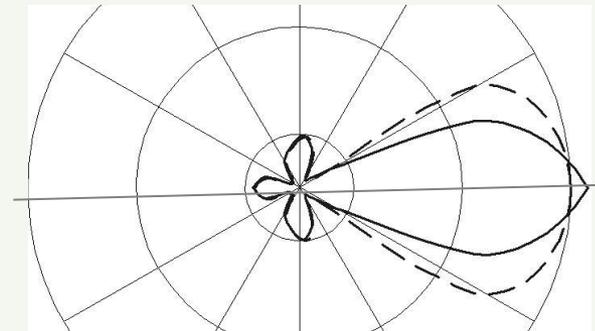


ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ λ - ОБРАЗНОЙ АНТЕННЫ

в ВП



в ГП



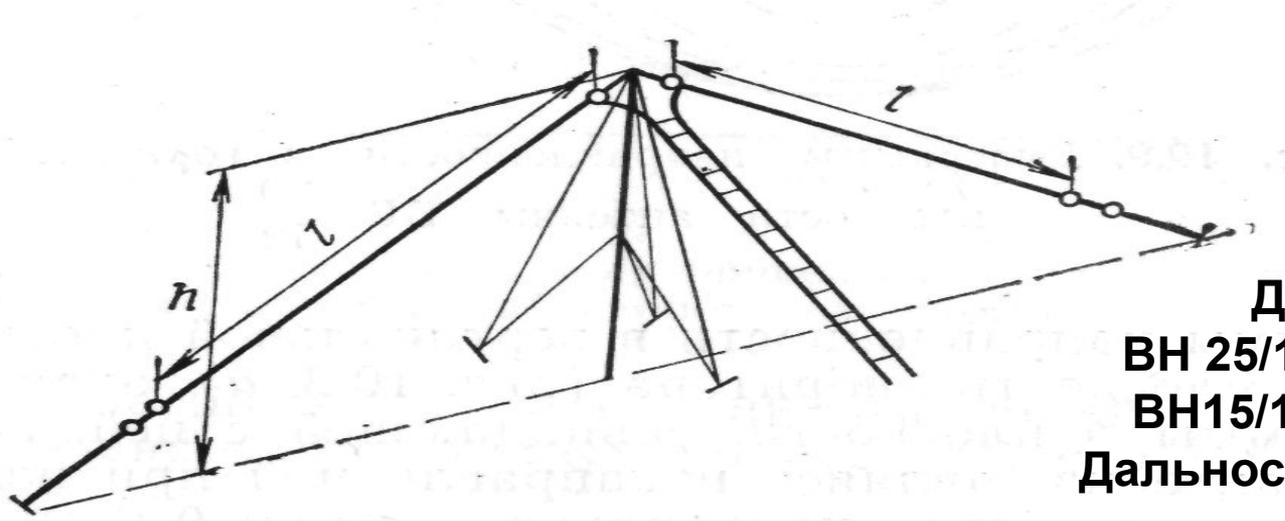
Эффективность антенны, а, следовательно, предельная дальность связи значительно зависят от трассы, рельефа местности на трассе и от состояния почвы в непосредственной близости от антенны. Установлено, что на влажных почвах более эффективной является штыревая антенна, на сухих – АБВ, а λ –образная эффективнее АШ и АБВ во всех случаях.

3. АНТЕННЫ ДЛЯ СВЯЗИ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ РАДИОВОЛНАМИ

Антенна наклонный симметричный вибратор (наклонный диполь)

предназначена для связи ионосферными волнами при работе радиостанции на стоянке и представляет собой два наклонных вибратора (плеча) средней длиной каждого $L=1/2\lambda$. Каждое плечо антенны выполнено из двух отрезков гибкого многожильного провода, которые можно соединять перемычками. Такая конструкция позволяет в низкочастотной части диапазона (1,5...6 МГц) использовать вибратор с полной длиной плеча, а в высокочастотной части (6...12МГц) - с укороченной. Антенна развешивается на мачте с высотой подвеса 9-12м и соединяется с согласующим устройством радиостанции с помощью двухпроводного фидера длиной 15м. Антенна является слабонаправленной с преимущественным излучением в направлении, перпендикулярном плоскости диполя. Поэтому для обеспечения радиосвязи на дальности до 300 км антенна может быть ориентирована произвольно, а на дальностях свыше 300 км – продольной осью полотна перпендикулярно направлению на корреспондента. Для радиостанций средней мощности применяется антенна ВН 40/12 (ВН 13/9), обеспечивающая дальность связи до 800 км; для радиостанций КШМ – антенна ВН 25/11 (ВН 15/11) с дальностью связи до 350км.

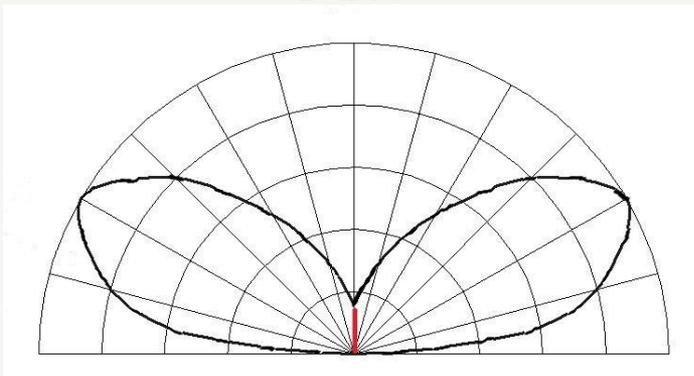
Симметричный наклонный вибратор (ВН 25/11) Наклонный диполь (Д2х25)



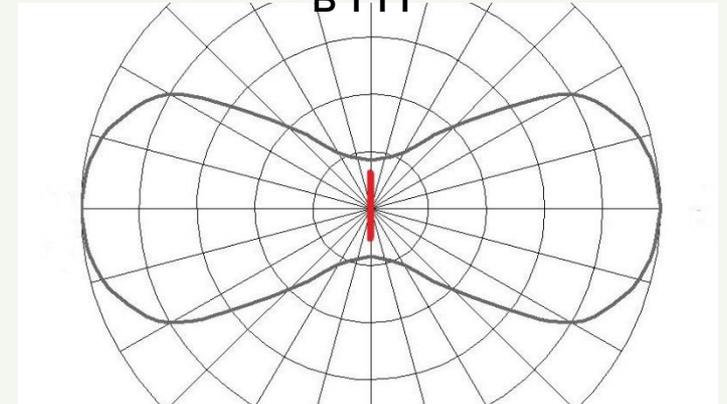
Диапазон частот
ВН 25/11 (Д2х25) - 1,5- 6 МГц
ВН15/11 (Д2х15) - 6 - 12 МГц
Дальность радиосвязи до 350 км

ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ СИММЕТРИЧНЫЙ ВИБРАТОР

в ВП



в ГП

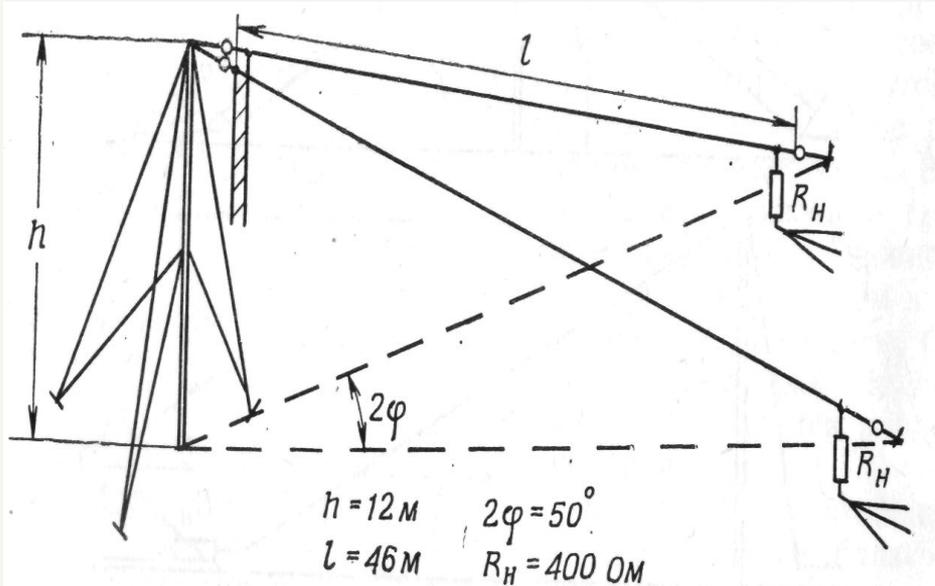


V- образная антенна (V 46/12) предназначена для обеспечения радиосвязи на стоянке ионосферной волной в диапазоне 10...30 МГц на дальности свыше 800 км.

Конструктивно антенна выполнена в виде двух лучей медного многожильного провода длиной по 46 м. Верхние концы лучей крепятся на высоте 12 м телескопической мачты. Нижние концы лучей разносятся на расстояние 37 м друг от друга так, чтобы угол между проекциями лучей на землю составил 50° . С целью обеспечения режима бегущей волны концы лучей нагружаются на активное сопротивление ($R = 400 \text{ Ом}$) и противовесы.

Антенна обладает направленностью как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях с максимумом излучения в плоскости биссектрисы угла между лучами. В средней части рабочего диапазона ширина главного лепестка диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости составляет 30...35, а в горизонтальной – 25...30

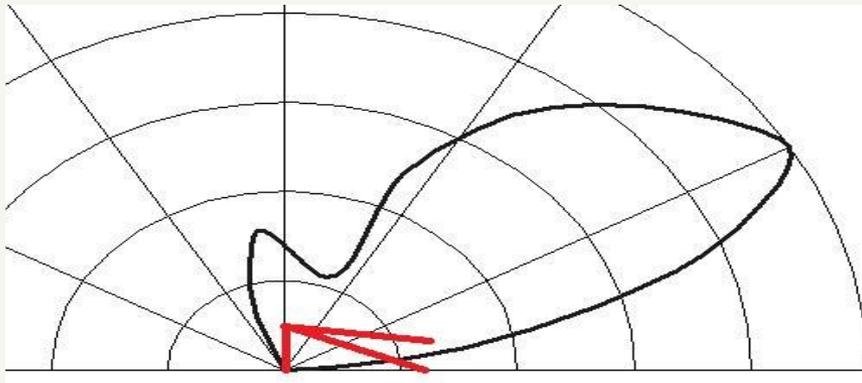
V-образная антенна (V2x46 м)



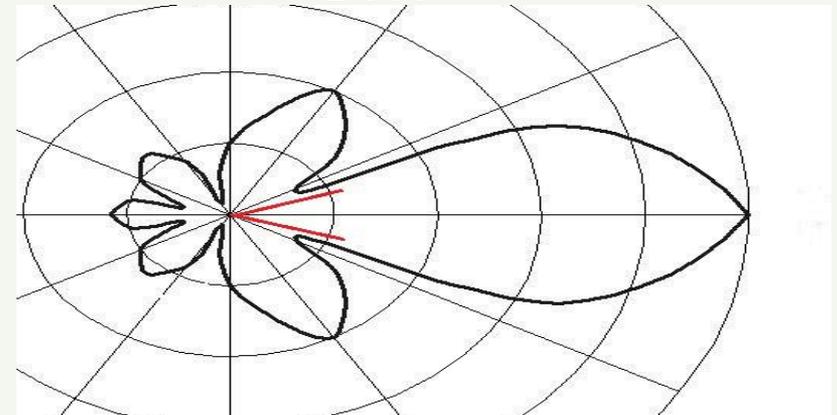
Диапазон частот 10-30 МГц
Дальность радиосвязи до 2000 км

ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ V-ОБРАЗНОЙ АНТЕННЫ

в ВП



в ГП



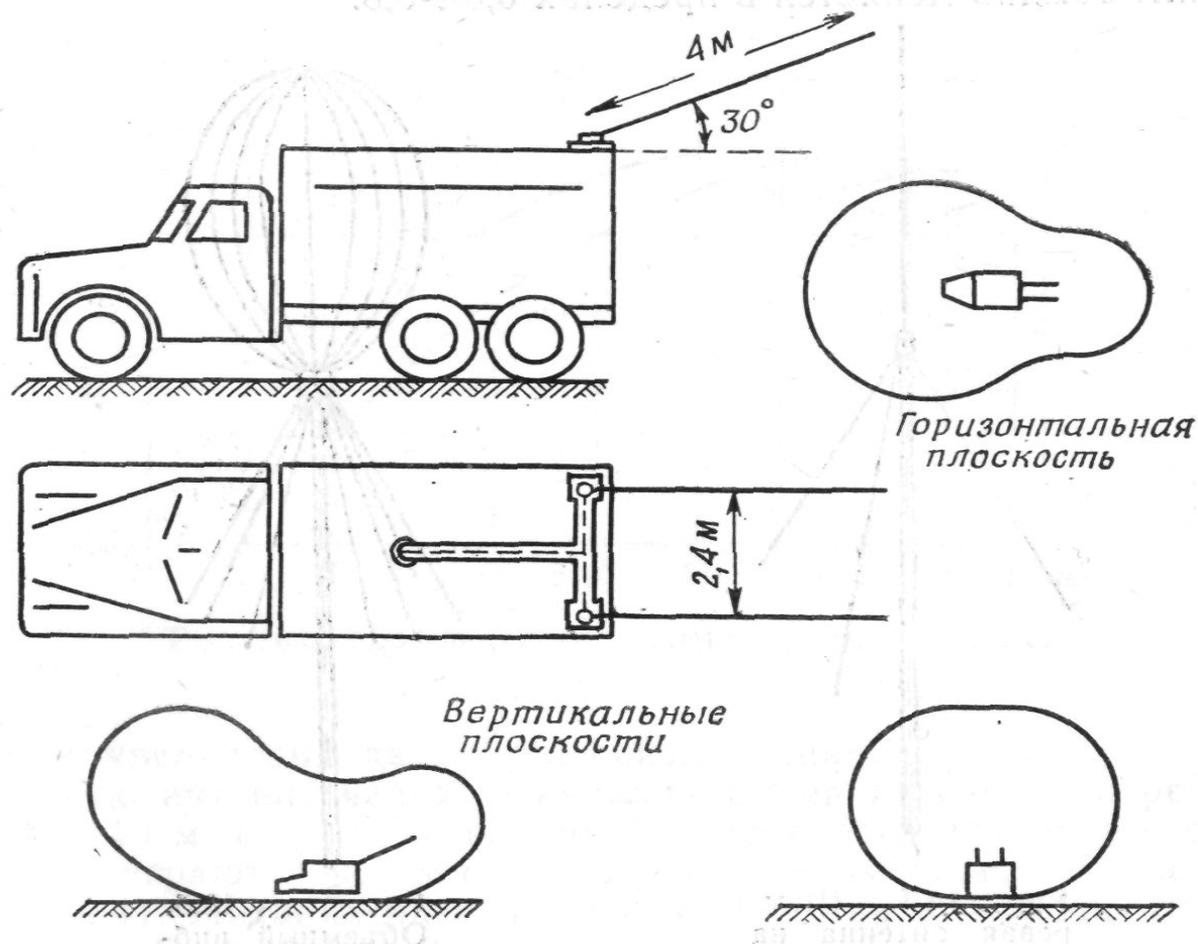
Антенна зенитного излучения предназначена для связи ионосферной и земной волной КВ радиостанций на коротких остановках и в движении. На КШМ Р-142Н излучатель выполнен из двух разнесенных П-образных рамочных элементов, установленных на крыше автомобиля. Максимум излучаемой электромагнитной волны приходится вперед и вверх машины.

На радиостанции средней мощности Р-161А-2М и КШМ Р-149БМР применяются двухштыревые антенны зенитного излучения (ДШАЗИ), состоящие из полотна антенны, механизмов подъёма и коаксиальных линий. Полотно антенны состоит из двух четырёхметровых штырей, расположенных в рабочем положении под углом 30° к горизонту (“наклонно”) и вынесенных за габариты кузова. Механизмы подъёма обеспечивают перевод антенны из транспортного положения в вертикальное (для работы земной волной) или наклонное (для работы ионосферной волной) и обратно. Характеристики излучения антенны в горизонтальной плоскости имеют некоторую направленность в сторону нижних концов штырей при наклонном их положении. При работе их ориентируют передней частью автомобиля (БТР) на корреспондента. В походном положении штыри могут быть сняты. Дальность связи до 350км.

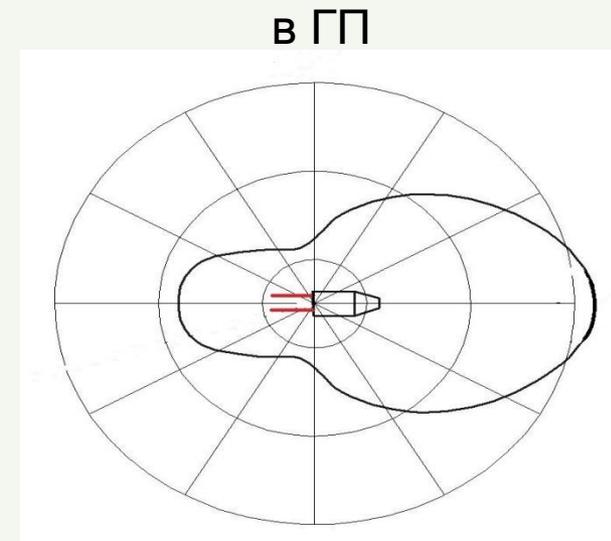
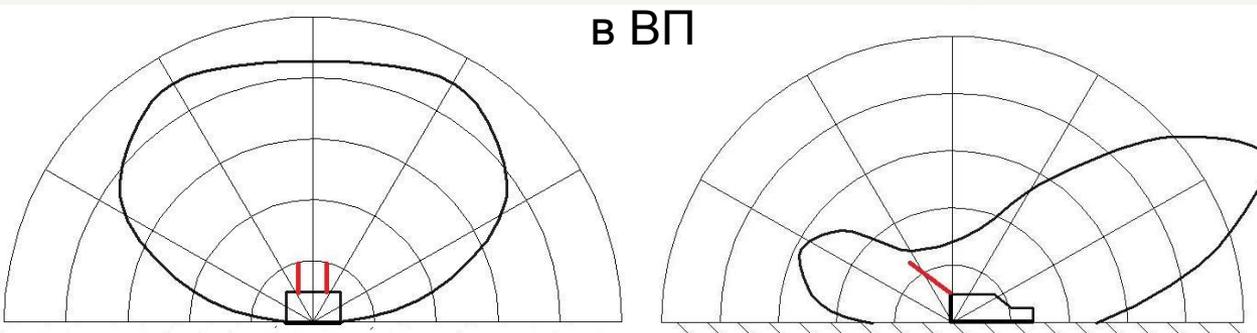
Антенна зенитного излучения (АЗИ)

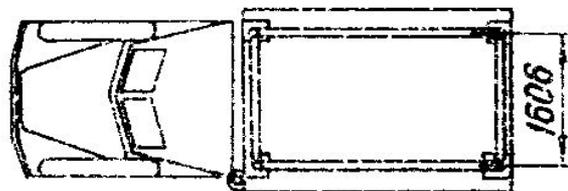
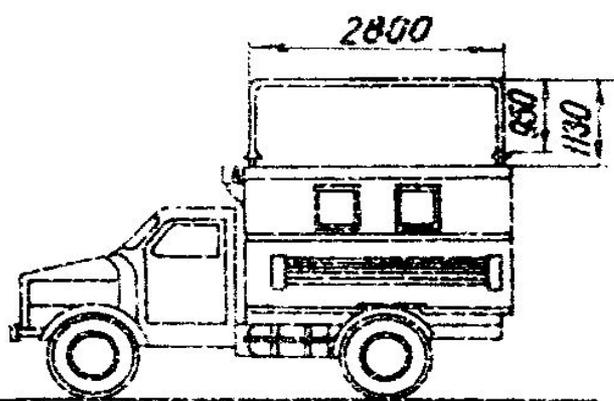
Двухштыревая АЗИ
(Р-161А-2М, Р-149БМР)

Диапазон частот 1,5-14 МГц
Дальность радиосвязи до 300 км

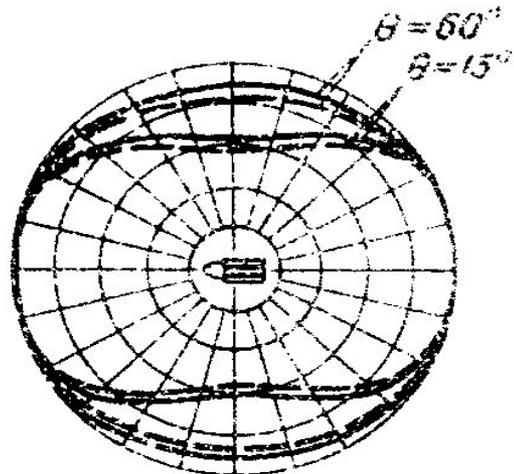


ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АЗИ



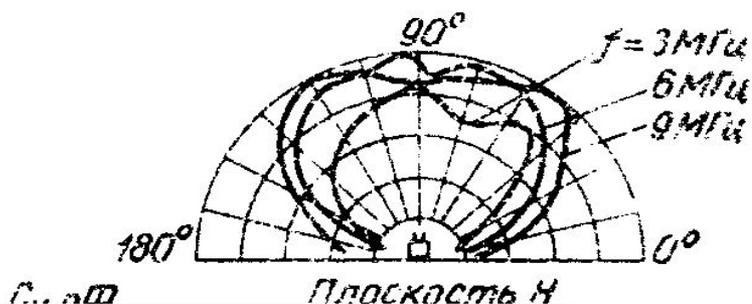
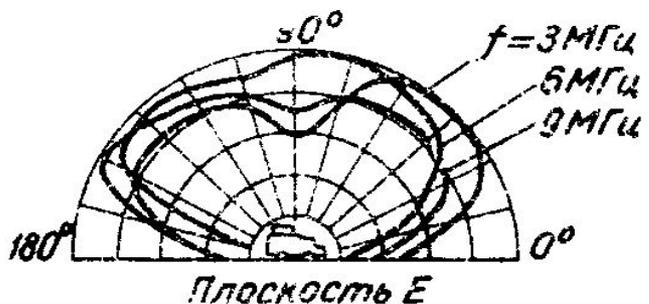


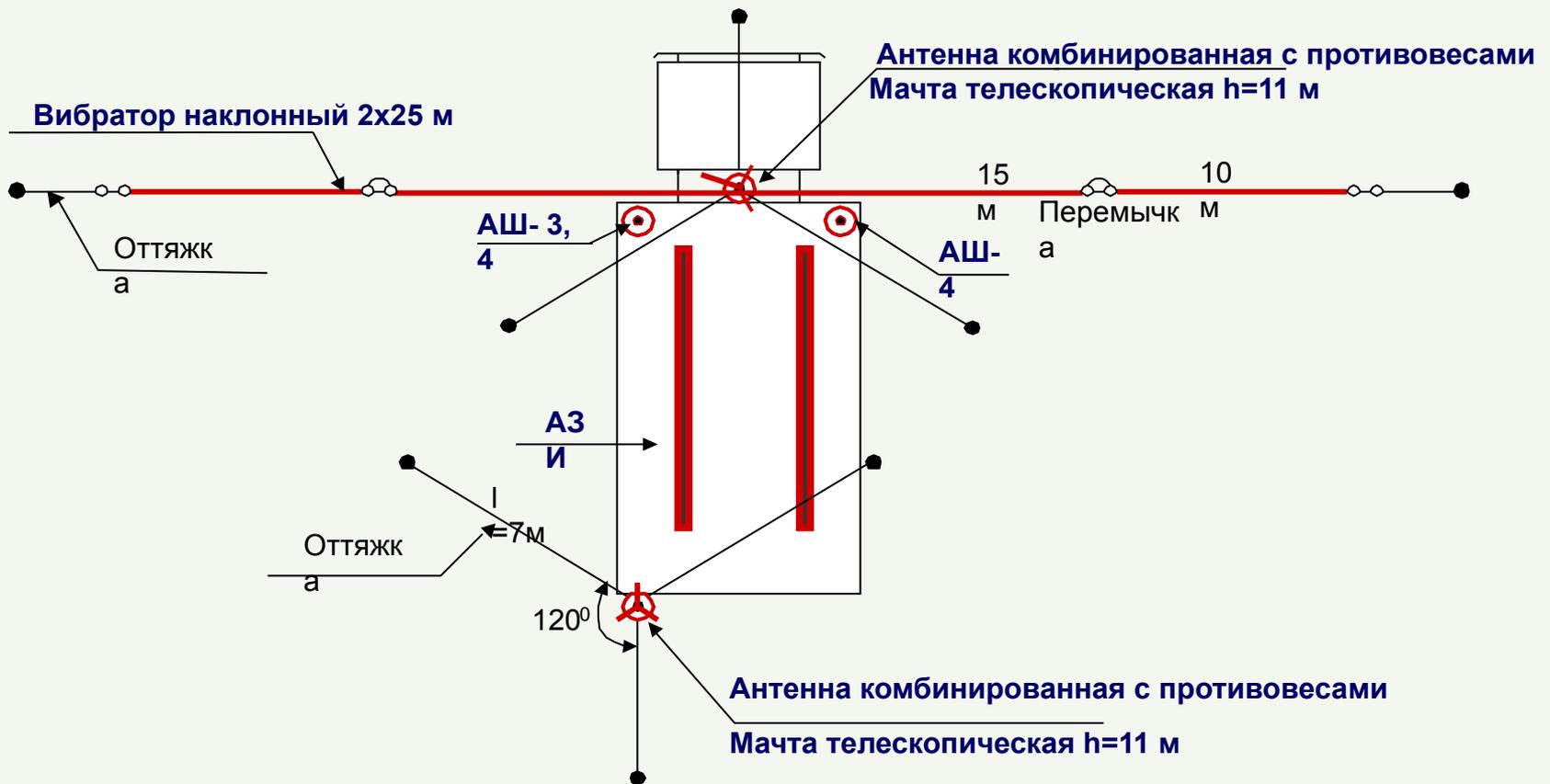
ДН в ГП

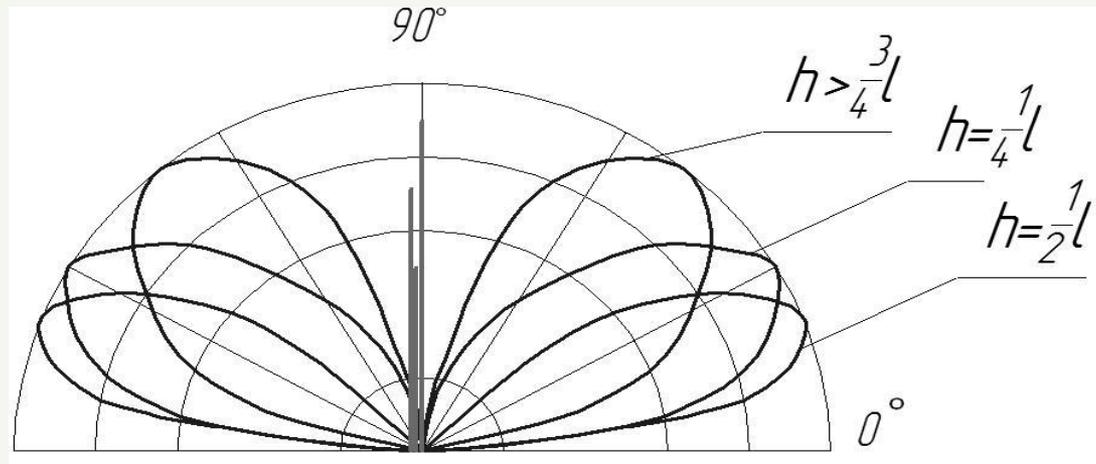


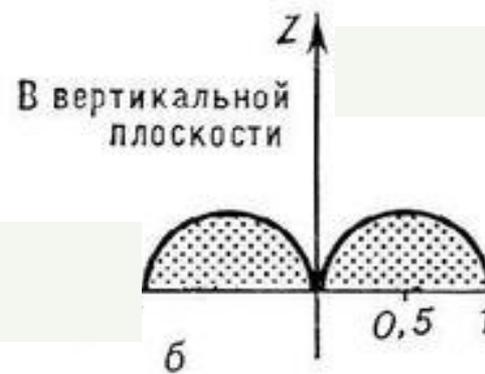
ДН в ВП

Рамочная АЗИ
(КШМ Р-142Н)

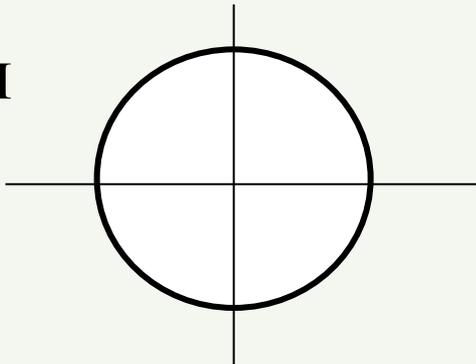


Антенное поле КШМ Р-142Н



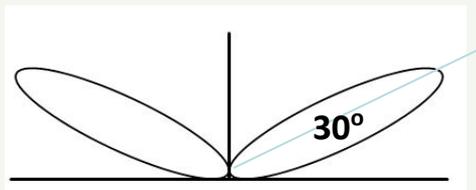


ДН в ГП

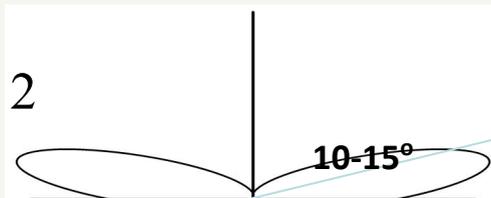


ДН в ВП

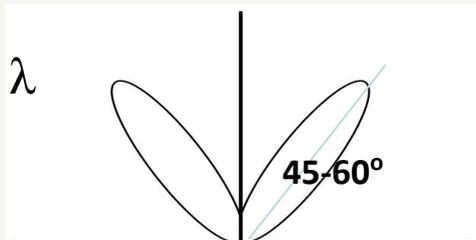
$h_A = \lambda / 4$



$h_A \geq \lambda / 2$

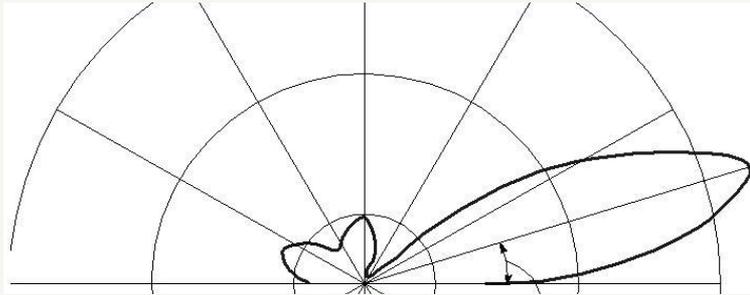


$h_A \geq 3/4 \lambda$

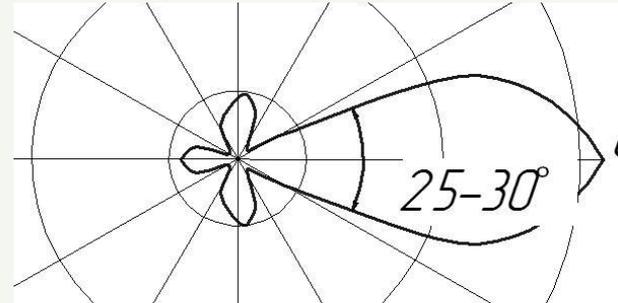


ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

в ВП

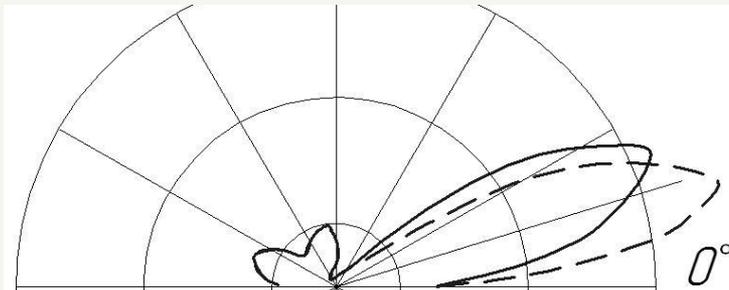


в ГП



ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ λ -ОБРАЗНОЙ АНТЕННЫ

в ВП



в ГП

