

РАДИОКАНАЛ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИЗВЕЩЕНИЙ

Радиосистема передачи извещений (РСПИ) – это большой комплекс средств, включающих объективное, ретрансляторное, приемное, антенно-фидерное оборудование, компьютерная сеть для организации автоматизированных рабочих мест. Организациям, которые эксплуатируют или хотят развернуть РСПИ, приходится сталкиваться с множеством разнообразных и достаточно сложных вопросов. И чаще получается так, что вопросам, связанным с радиоканалом, уделяется мало внимания. Почему-то бытует мнение, что с радио все более или менее просто: установил антенну, прокинул кабель снижения до приемника и работай на здоровье. А вот с компьютерами сложнее... Особенно, когда сеть нужна... Надо бы в штат компьютерщика взять, а то и двух... Поэтому иногда можно услышать монолог примерно следующего содержания: "...На прошлой неделе запустил центральную станцию и несколько объектов. Все вроде бы работает нормально. Вот только дальность какая-то маленькая получилась, да вот от некоторых объектов сигнал вообще не проходит... Пока не разобрались в чем дело. Антенну хорошую, дорогую, японскую купили. Колене...ния... В общем, с коленом что-то связано... И установили неплохо, на собственную крышу. Дом, правда, не очень высокий. Рядом повыше будут. Но антенну мы установили на мачту метров шесть. И укрепили ее как следует, растяжки сделали из металлического троса в палец толщиной. Никогда не упадет... И кабель такой красивый импортный купили, потоньше, чтобы удобней было. От антенны до приемника всего то метров шестьдесят. С альпинистами для прокладки кабеля с внешней стороны связываться не стали, суматохи много, да и деньги сэкономили. Кабель проложили по лестнице в кабель-каналах. Там много разных проводов идет..." и т.д. Как говорится, комментарии излишни, но будут приведены далее.

I. Процессы, происходящие при распространении радиоволн

Нужно понимать, что невозможно правильно и эффективно эксплуатировать систему, не понимая, какие физические процессы протекают в радиоканале.

Первый вопрос, который встает перед теми, кто хочет развернуть РСПИ, состоит в том, какой диапазон частот выбрать. Основная масса известных РСПИ использует три диапазона частот:

- коротковолновый (КВ, используемая частота 26,960 МГц для стационарных объектов);
- ультракоротковолновый (УКВ) метрового диапазона МВ (частоты из интервала 136...174 МГц);
- ультракоротковолновый (УКВ) дециметрового диапазона ДМВ (частоты из интервала 400...500 МГц);

Каждый диапазон частот с точки зрения пользователя имеет свои плюсы и свои минусы.

В начале остановимся на некоторых **особенностях распространения радиоволн** в различных диапазонах.

Уверенным приемом называют прием сигналов с необходимым качеством от конкретного передатчика независимо от погоды, состояния солнечной активности, времени суток и года, температуры и влажности воздуха, а также других факторов.

Как известно, ультракороткие волны распространяются прямолинейно, подобно свету, не огибают земную поверхность и не отражаются ионосферой в противоположность волнам коротковолнового диапазона. Поэтому зона уверенного приема опреде-

ляется расстоянием прямой видимости передающей антенны до точки установки приемной антенны. Однако, в природе существует явление нормальной тропосферной рефракции (преломления), которое способствует распространению радиоволн за пределы зоны прямой видимости. Этот эффект объясняется зависимостью коэффициента преломления воздуха от высоты, относительной влажности, атмосферного давления и температуры. Дальность радиосвязи с учетом этого явления может быть оценена по формуле [1]:

$$D = 4,13 \cdot (h_1^{0,5} + h_2^{0,5}), \quad (1)$$

где D – дальность, км; h_1 – высота установки антенны передатчика над поверхностью земли, м; h_2 – высота установки антенны приемника над поверхностью земли, м.

Формула была получена в предположении, что эффективный радиус земли равен 8500 км и антенны установлены на идеально ровной сферической поверхности Земли, и не учитывает реального рельефа местности.

Кроме того, при распространении имеет место явление **дифракции радиоволн**. Суть этого явления заключается в том, что радиоволны огибают препятствия, возникающие на их пути, отклоняясь от прямолинейного, и проникают в область радиотени. Радиотень возникает в случаях, когда на пути распространения волн существует (или периодически появляется) какая-либо естественная или искусственная преграда: здания, сооружения, возвышенности, деревья, линии электропередачи и т.п. В такие места сигнал либо не доходит вообще, либо доходит сильно ослабленным. Борьба с проблемой затенения весьма сложно.

Единственным методом решения данной проблемы является использование ретрансляторов. Эффект дифракционного проникновения радиоволны в область тени зависит от соотношения между размером препятствия и длиной волны и выражен тем сильнее, чем больше длина волны. Поэтому в диапазоне КВ (длина волны составляет примерно 10 м) эффект дифракции выражен более ярко по отношению к диапазонам МВ и тем более ДМВ, где длина волны составляет несколько десятков сантиметров.

Здесь необходимо отметить еще одну особенность распространения дециметровых волн. В силу того, что для них практически отсутствует эффект дифракции и они хорошо отражаются от имеющихся преград, радиоволны дециметрового диапазона обладают большей проникающей способностью внутрь помещений, подвалов и т.д. Например, были отмечены случаи приема сообщений на пейджеры дециметрового диапазона даже на станциях метро, располагающихся под землей. Это действительно так при использовании передатчиков большой мощности (несколько десятков ватт и более) и высокоэффективных антенн. Более того, в приведенном примере антенна передатчика располагается на большой высоте и "освещает" город сверху. Если же передатчик устанавливается на объекте в охраняемом помещении, то велика вероятность того, что сигнал вообще не дойдет до приемной антенны, поскольку после ряда отражений основная доля энергии волны может просто пройти мимо приемной антенны. При работе в дециметровом диапазоне это надо иметь в виду.

Помимо явлений дифракции и нормальной рефракции дальнему распространению радиоволн способствует их рассеяние различными наземными металлическими предметами в виде железобетонных масс зданий, мостов, мачт, а также неоднородностями в верхних слоях атмосферы. В результате рассеяния возникают вторичные излучения сигнала, которые значительно слабее по мощности основного. Однако при наличии высокоэффективной антенны и достаточно чувствительного приемника можно считать реальным достижение уверенного приема сигналов благодаря упомянутым выше явлениям на значительно больших расстояниях, чем дает формула дальности прямой видимости. Практика подтверждает такой вывод.

Область, в пределах которой оказывается возможным уверенный прием сигналов, можно разбить на две зоны: прямой видимости и полутени. В зоне прямой видимости напряженность электромагнитного поля сигнала достаточно велика, и прием возможен с помощью обычных антенн. Расширить зону прямой видимости конкретного объектового передатчика в целях использования сравнительно простой антенны на стороне

приема, то есть на центральной станции, можно лишь увеличением высоты ее установки. Однако расширение зоны прямой видимости таким способом оказывается не столь значительным.

В таблице 1 приведены значения дальности в зависимости от высот установки передающей и приемной антенн, рассчитанные по формуле (1). Из таблицы видно, что увеличение высоты установки приемной антенны с 30 до 60 м (например, перенос антенны с 10 на 20-25 этажный дом) при установке передающей антенны на высоте 10 м увеличивает зону прямой видимости соответственно примерно с 36 до 45 км. Но, несмотря на это, при поиске места для установки приемной антенны центральной станции все равно нужно пользоваться правилом: чем выше, тем лучше.

Таблица 1

h ₂ = 30 м	h ₁ = 2 м	D = 28,5 км
	h ₁ = 10 м	D = 35,5 км
	h ₁ = 30 м	D = 45,2 км
h ₂ = 60 м	h ₁ = 2 м	D = 37,8 км
	h ₁ = 10 м	D = 45 км
	h ₁ = 30 м	D = 54,6 км

В зоне полутени напряженность поля сигнала значительно ниже, чем в зоне прямой видимости, так как в зону полутени проникает лишь небольшая часть энергии сигнала, излученного передающей антенной. Это вызывает необходимость использования в зоне полутени для уверенного приема высокоэффективных антенн, которые отличаются от сравнительно простых большими размерами, значительно более сложной конструкцией и высокой ценой. Границы зон прямой видимости и полутени на практике не являются резкими, а в значительной степени размыты (особенно для городских условий), а зоны полутени для диапазона дециметровых волн практически не существует.

Но и это еще не все, о чем надо иметь представление при распространении радиоволн. Существует такое понятие как затухание волн (сигналов), заключающееся в ослаблении сигнала по мере удаления от передатчика. Ослабление происходит вследствие действия двух факторов. Во-первых, ослабление из-за рассеяния энергии волн, излучаемых антенной передатчика, по мере удаления приемной антенны от передающей. Физика процесса аналогична распространению светового потока от лампочки: чем дальше, тем хуже видно. Дело в том, что любая антенна излучает основную часть энергии в некотором пространственном угле. И по мере удаления от передающей антенны количество энергии, попадающей на единицу площади, будет изменяться обратно пропорционально квадрату расстояния. Любую антенну можно представить в виде некоторой эквивалентной площадки, стоящей на пути распространения радиоволн, поэтому эффективность антенны однозначно связана с ее геометрическими размерами. Во-вторых, ослабление за счет прямого поглощения энергии радиоволн молекулами воздуха, а так же различными посторонними частицами, такими как пыль, дождь, снег, туман. При этом, чем выше частота, тем больше затухание. Поэтому радиоволны дециметрового диапазона из всех рассматриваемых наиболее подвержены поглощению. Вот почему можно считать, что зона уверенного приема в дециметровом диапазоне ограничивается расстоянием прямой видимости, уменьшенным примерно в 1,2...1,5 раза.

Есть еще одно физическое явление, возникающее при распространении радиоволн, на котором хотелось бы остановиться. Называется это явление **интерференцией**. Возникает оно из-за многолучевого распространения радиоволн, вызванного отражением от различных препятствий, и наложением отраженных волн (а может быть и прямой волны) друг на друга в точке приема. Рассмотрим простой пример. Допустим в точку приема приходят две волны: прямая и отраженная. Казалось бы очень хорошо,

две всегда больше, чем одна. Однако амплитуда результирующей волны будет зависеть от разности фаз исходных волн в данной точке приема. Если складываются волны с одинаковой фазой, амплитуда результирующей волны будет увеличиваться, а если с противоположными – уменьшаться вплоть до нуля. В реальных условиях в точке приема могут приниматься множество волн со смещенными друг относительно друга фазами и разными амплитудами и, следовательно, результирующий сигнал может измениться случайным образом. Поэтому, если при установке антенны объектового передатчика уровень сигнала в точке приема мал, попробуйте путем перемещения антенны в пределах зоны, имеющей радиус в четверть длины волны, если такая возможность имеется, добиться увеличения амплитуды сигнала в точке приема. Возможно, ваши усилия дадут положительный результат.

Интерференция относится к наиболее сложному виду помех, влияющих на дальность связи, ведь в точку приема в общем случае приходят прямые и отраженные сигналы от своего передатчика и его гармоники, прямые и отраженные сигналы от "чужих", работающих на близких частотах (и не только на близких), передатчиков и их гармоники, различные помехи от производственных предприятий, транспорта, атмосферные помехи и т.д. Очевидно, что интерференция практически не поддается прогнозированию. Однако, при наличии соответствующего оборудования можно определить наиболее серьезные помехи и постараться подавить их до некоторого уровня, обеспечивающего приемлемое качество приема. Для достижения этой цели используются различные фильтры и другие устройства, включаемые в состав АФТ. Это тема раздела III.

Есть еще один достаточно серьезный вопрос, связанный с выбором частот. При развертывании РСПИ, использующей частоты УКВ диапазона, требуется разрешение на использование последних. Получение такого разрешения в соответствующих органах есть своя достаточно сложная задача. Срок получения разрешения составляет несколько месяцев, да к тому же требует финансовых затрат. В КВ диапазоне все несколько проще. Разрешение на использование частоты получать не надо, а для начала работы достаточно приобрести сертифицированное оборудование и зарегистрировать его в местном органе Госсвязьнадзора. Но надо иметь в виду, что для систем охраны стационарных объектов выделена только одна частота, номиналом 26,960 МГц. И никто не гарантирует, что еще кто-то не будет работать на этой частоте.

Резюмируя, можно сказать следующее. Главными факторами, определяющими дальность связи, являются эффективность антенн, установленных в точках приема и передачи, и высота их установки. Увеличение мощности передатчика не столь сильно сказывается на дальности. Теоретически упрочнение передатчика в 10 раз приводит к увеличению зоны приема лишь в 3 раза. На практике при установке приемной антенны центральной станции на высоте около 25...30 м и использовании объектовых передатчиков мощностью 5 Вт для МВ диапазона в городских условиях при средней застройке высотой в 5 этажей средняя дальность может составлять 5...8 км, а в сельской местности при наличии ровного рельефа – несколько десятков километров.

II. Антенно-фидерный тракт

Вопросы построения АФТ, выбора и установки антенн, выбора и прокладки фидера и описание методов борьбы с помехами, попадающими на вход приемника центральной станции.

В разделе I была приведена формула (1), позволяющая оценить дальность радиосвязи с учетом рефракции при определенных уровнях подвеса приемной и передающей антенн. Формула является оценочной и не учитывает массу факторов, влияющих на дальность радиосвязи. Попробуем разобраться, что это за факторы и как они влияют на дальность и качество связи.

Произведем оценку мощности полезного сигнала, поступающего на вход приемника радиолинии. Обозначим мощность передатчика $P_{пер}$, а $I_{пер}$ – КПД передающего тракта АФУ. Тогда излучаемая мощность будет равна $P_{пер}I_{пер}$. При использовании изотропной передающей антенны и среде распространения без потерь мощность, проходящая через единичную площадку, находящуюся на расстоянии R от передатчика, как это следует из закона сохранения энергии, равна излучаемой мощности, деленной на площадь поверхности сферы радиусом R . Тогда поток мощности через единичную площадку в точке приема равен

$$p_0 = P_{пер}I_{пер} / 4\pi R^2.$$

Если передающая антенна имеет коэффициент усиления по мощности $G_{пер}$ в направлении на приемник, то

$$p_0 = P_{пер}I_{пер}G_{пер} / 4\pi R^2.$$

Усиление антенны – величина сравнительная. Она вводится из-за необходимости сравнения характеристик антенн. Обычно сравнение производится с идеальной изотропной антенной. Усиление антенны определяется в направлении главного лепестка диаграммы направленности, а величина $P_{пер}I_{пер}G_{пер}$ называется эффективной излучаемой мощностью (ЭИМ).

Приемная антенна, в свою очередь, характеризуется эффективной площадью $S_{пр}$ и перехватывает мощность, величина которой зависит от $S_{пр}$. Введем коэффициент L ($L \leq 1$), характеризующий потери полезного сигнала в тракте от передатчика до входа приемника. Величина $p_{пер}$ также входит в эти суммарные потери. Тогда мощность полезного сигнала на входе приемника

$$P_c = p_0 S_{пр} = LP_{пер}G_{пер}S_{пр} / 4\pi R^2.$$

Определяющей с точки зрения качества приема является величина отношения мощности полезного сигнала P_c к спектральной плотности шумов N_0 на входе приемника. Так как $N_0 = kT$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц·град – постоянная Больцмана, T – шумовая температура приемной системы в градусах абсолютной шкалы, то

$$P_c/N_0 = LP_{пер}G_{пер}S_{пр} / (4\pi R^2 kT) \quad (2)$$

Если полоса входного тракта приемника равна Δf , мощность шумов в данной полосе будет составлять $P_{ш} = N_0 \Delta f$, и тогда

$$P_c/P_{ш} = LP_{пер}G_{пер}S_{пр} / (4\pi R^2 kT \Delta f) \quad (3)$$

Величину $P_c/P_{ш}$ называют отношением **С/Ш (С/Ш)**. Для систем передачи цифровой информации существует некоторое пороговое значение этого параметра, при котором становится невозможным прием информации с заданным качеством. Поэтому, используя формулу (3), можно записать

$$(C/Ш)_{пор} \leq LP_{пер}G_{пер}S_{пр} / (4\pi R^2 kT \Delta f), \quad (4)$$

где: $L = I_{пер}I_{атм}I_{пр}$, $I_{атм}$ и $I_{пр}$ – коэффициенты, характеризующие потери из-за поглощения радиоволн в атмосфере и в АФТ на приемной стороне соответственно.

Это выражение является основополагающим, связывает основные параметры радиолинии и показывает, какие параметры и как влияют на качество приема. Бытует мнение, что лучшим усилителем является хорошая антенна. И это действительно так.

Только с одной поправкой – хороший антенно-фидерный тракт. Эффективность антенны однозначно связана с ее геометрическими размерами, поэтому миниатюризация антенн, если на то нет веских причин, не приветствуется. Видов антенн существует большое количество от четвертьволновых (и менее) вибраторов до сложных антенных решеток. Последние представляют собой ряд вибраторов, соединенных фазосдвигающими элементами таким образом, что, если решетка работает на передачу, все вибраторы излучают синфазно, а если на прием, сигналы со всех вибраторов складываются в фазе, и на выходе решетки формируется "усиленный" в n раз сигнал. Поэтому антенные решетки характеризуются хорошей эффективностью (большая $S_{пр}$), но и значительной ценой.

В системах передачи извещений (СПИ) существует некоторая специфика, заключающаяся в том, что, во-первых, на центральных станциях мониторинга (ЦСМ) устанавливаются в подавляющем большинстве "полновесные" базовые антенны, имеющие в горизонтальной плоскости круговую диаграмму направленности (ДН), а на объектах применяются антенны небольших размеров с круговой ДН, а также направленные. Остановимся сначала на базовых антеннах.

Базовые антенны.

Наиболее широкое распространение в качестве базовых получили антенны с вертикальной поляризацией типа "Ground Plane" или сокращенно – "GP". Антенна имеет штыревую конструкцию, состоящую из вертикального вибратора и ряда противовесов, расположенных под некоторым углом. Такая конструкция проста и удобна для установки и, в то же время, достаточно эффективна. Часто для увеличения эффективности используют коллинеарные антенны. Коллинеарные антенны состоят из нескольких вибраторов, соединенных последовательно между собой с помощью фазосдвигающих катушек, и представляют собой несколько колен высокопрочного фиброгласа, защищающих элементы от атмосферных воздействий и ветровых нагрузок и соединяемых герметичными муфтами. Коэффициент усиления таких антенн зависит от количества вибраторов и может составлять до 10 дБ и выше.

При установке антенны нужно руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- устанавливать антенну желательно как можно выше (вспомните первую часть статьи). Однако здесь есть некоторые нюансы, на которых остановимся ниже;
- расстояние от крыши до основания антенны должно составлять не менее нескольких длин волн;
- вблизи антенны не должно быть металлических предметов и конструкций таких, как другие антенны, металлические трубы, молниеотводы, провода и т.д.

ДН вертикально стоящего излучателя в вертикальной плоскости характеризуется малым углом вертикального излучения при условии, что антенна расположена над поверхностью земли с хорошей проводящей способностью (в случае антенн типа "Ground Plane" роль хорошо проводящей поверхности играют противовесы). В горизонтальной плоскости вертикальный штырь имеет круговую ДН. На рис. 1а и 1б представлены для

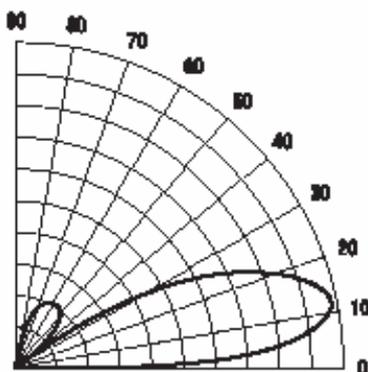


Рис. 1а

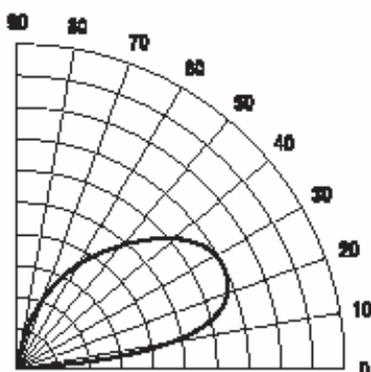


Рис. 1б

примера ДН вертикальных штырей длиной соответственно $1/4\lambda$ и $5/8\lambda$, где λ – длина волны. Для антенны четвертьволнового вертикального штыря вертикальный угол раскрытия диаграммы направленности лежит между 10° и 55° и вертикальный угол максимума излучения составляет примерно 30° , для излучателя длиной $1/2\lambda$ угол раскрытия лежит между 5° и 35° и угол максимума

излучения составляет уже 17° , а для излучателя длиной $5/8\lambda$ величины углов составляют $3^\circ \dots 27^\circ$ и 12° . При дальнейшем увеличении длины штыря качество характеристик направленности начинает ухудшаться. Поскольку для связи с объектами используется плоская волна, распространяющаяся параллельно земной поверхности, становится ясным, почему наиболее часто для антенн вертикальной поляризации используются излучатели длиной $5/8\lambda$. На практике эффект "задирания" лепестков ДН в вертикальной плоскости происходит вследствие переотражения радиоволн от подстилающей поверхности (поверхности Земли, крыши и т.д.) и последующего векторного сложения с прямой волной. Здесь нужно отметить, что ДН в реальных условиях имеют изрезанный вид и могут иметь дополнительные лепестки. Форма ДН зависит от состояния подстилающей поверхности, точнее от ее электропроводности. В связи с этим при изменении погодных условий (прошел дождь, выпал снег, случилась засуха) в тех или иных пределах изменяется форма ДН. И, тем не менее, чем выше установлена антенна над подстилающей поверхностью, тем меньше сказывается эффект "задирания". Можно считать, что при установке антенны на высоте $\sim 5 \times$ этот эффект отсутствует. Поэтому УКВ антенны следует размещать выше окружающих ее предметов (здания, провода) на $2 \dots 3\lambda$.

Эффект "задирания" лепестков ДН в вертикальной плоскости может привести к тому, что связь станции ЦСМ с близко расположенными объектами устанавливается плохого качества. Сигналы с объекта то принимаются, то не принимаются, даже если существует прямая видимость. Обратимся к рис.2. На нем условно изображены приемная антенна ЦСМ, антенна объектового передатчика и их диаграммы направленности.

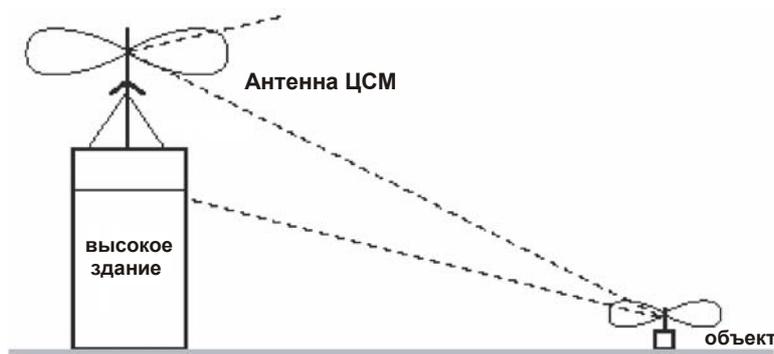


Рис. 2

Из рисунка видно, что максимумы ДН в вертикальной плоскости разориентированы друг относительно друга (а наилучшие условия связи возникают тогда, когда максимумы ДН лежат на одной прямой). Основная часть энергии, излучаемая объектовой антенной, не попадает на базовую антенну, к тому же усилительные свойства базовой антенны в направлении

на объект оставляют желать лучшего. Поэтому мощность полезного сигнала на выходе базовой антенны мала. А далее – будет связь или нет – зависит от того, насколько хорошо согласованы антенна с фидером, а фидер со входом приемника, каковы потери в кабеле, используемом в качестве фидера, какова чувствительность приемника и т.д. Таким образом, при выборе базовой антенны необходимо ознакомиться с ее ДН, которая обычно приводится производителем в паспорте на антенну. Предпочтительными антеннами считаются те, у которых направление максимума излучения в вертикальной плоскости проходит параллельно поверхности земли при прочих равных условиях.

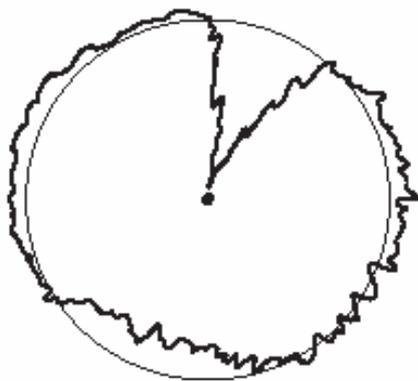


Рис. 3

Как было сказано выше, в горизонтальной плоскости вертикальный штырь в идеальном случае имеет круговую ДН. При установке на крыше на ДН оказывают влияние близко расположенные металлические (и не только) предметы, такие как трубы, другие антенны, молниеотводы и т.д. При этом в ДН в горизонтальной плоскости появляются "провалы" и ДН начинает носить изрезанный характер, как показано на рис. 3. Изрезанность и провалы диаграммы обуславливаются интерференцией радиоволн, отраженных от окружающих антенну предметов. При этом провалы могут доходить до нуля, а это значит, что

связь с объектами, расположенными в направлении провала либо плохая, либо вообще может отсутствовать, а в направлении нуля вообще невозможна, независимо от мощности передатчиков и эффективности антенн, установленных на объектах. Очень ориентировочно можно считать, что небольшие металлические предметы не будут оказывать значительного действия на ДН, если они будут находиться на расстоянии 10х от места установки антенны. Гораздо хуже обстоит дело с близлежащими чужими антеннами. В какой мере эти антенны будут мешать работе вашей станции ЦСМ будет зависеть от того, насколько близка частота излучения чужой антенны рабочей частоте вашей системы, работают ли чужие антенны на прием и/или на передачу, какова подводимая мощность к чужой антенне. Как "выживать" в этой ситуации будет описано в разделе III.

Борьба с провалами может осуществляться тремя способами: повышением мощности объектового передатчика, применением на объекте более эффективных антенн и установкой базовой антенны выше окружающих предметов. Первый способ не всегда приемлем, поскольку существует ограничение на разрешенную мощность передатчиков (обычно 2...5 Вт). Второй способ более приемлем. Применение на объекте полноразмерных эффективных антенн не всегда возможно, по крайней мере с точки зрения их габаритов, да и дороговато. А вот применение выносных и направленных антенн сравнительно небольших размеров вполне оправдано. Третий способ, заключающийся в установке базовой антенны, выше окружающих предметов хотя бы на 2...3х является наиболее предпочтительным.

Для установки базовых антенн используются антенные мачты. Они могут быть изготовлены из стальных или алюминиевых труб, металлического профиля и т.д. Мачта крепится к подстилающей поверхности с помощью оттяжек. Чем больше высота мачты, тем больше ярусов оттяжек следует использовать для ее надежной фиксации. Ярусы оттяжек располагаются обычно через 3...5 м.

Расстояние от вершины мачты до верхнего яруса оттяжек должно быть минимальным, допускаемым конструкцией мачты. Число оттяжек в каждом ярусе может быть от трех до четырех, важно равномерно разместить их по кругу. При установке высоких мачт нагрузки на оттяжки под действием ветра могут быть очень большими, поэтому необходимо тщательно выбирать материал оттяжек и способ их крепления, чтобы избежать падения мачты.

Использование проволочных или на основе металлических тросов оттяжек может существенно влиять на характеристики антенны, если их размеры оказываются резонирующими на рабочих частотах. Для исключения влияния металлических оттяжек их необходимо разрывать изоляторами на отрезки длиной менее 0,2х. Применение оттяжек из прочного капронового шнура исключает влияние на характеристики антенны, но нужно позаботиться о том, чтобы шнур не перетерся или перерезался об острые кромки конструкций при раскачивании мачты. Узлы креплений капронового шнура необходимо страховать от сползания и развязывания путем их оплавления. К тому же при установке антенн необходимо позаботиться об их грозозащите и надежном заземлении с помощью хорошего заземляющего контура.

Защита оборудования ЦСМ от внешних воздействий природного и техногенного характера представляет собой целый комплекс технических мероприятий, поэтому в рамках данной статьи останавливаться на этом вопросе не будем.

Установка объектовых антенн

Основные принципы остаются теми же самыми, что и для базовых антенн. Для обеспечения связи, как отмечалось выше, предпочтительнее использовать выносные, в том числе направленные антенны. Самым большим минусом такого решения является возможность облома антенны злоумышленниками, поскольку последняя обычно находится вне зоны охраняемого объекта. Есть другое решение. Оно заключается в том, что антенна устанавливается вертикально прямо на корпус содержащего передатчик

(или трансивер) приемно-контрольного прибора (ПКП), который, в свою очередь, устанавливается в охраняемом помещении.

Плюсы ясны – антенна находится в охраняемой зоне и простой монтаж. Минусы тоже - дальность связи мала, а часто связь вообще невозможна. Все зависит от того, из какого материала сделаны стены здания, содержат ли стены металлическую арматуру и/или сетку, есть ли окна, как окна сориентированы относительно направления на антенну ЦСМ, как установлен ПКП и т. д. При установке ПКП в этом случае нужно руководствоваться достаточно простыми рекомендациями. Антенна не должна располагаться рядом с токонесущими проводами, кабелями (вычислительных сетей, видео) и т.д., особенно проложенными в вертикальной плоскости. Электросеть и провода шлейфов во избежание сильных наводок на них, которые могут привести к ложным срабатываниям, к ПКП следует подводить горизонтально. Необходимо обратить внимание на то, чтобы близко от антенны не находились датчики или другие приборы. Сильное электромагнитное излучение может нарушить их функционирование и вызвать ложные тревоги. Если Вы все сделали правильно, а качество связи все же оставляет желать лучшего, попробуйте подвигать прибор в пределах зоны, имеющей радиус хотя бы в четверть длины волны. Возможно, Вы сможете улучшить качество приема.

Большое влияние на коэффициент полезного действия АФТ оказывают потери в кабельных линиях. Это те самые потери, характеризующиеся коэффициентами $I_{пер}$ и $I_{пр}$, которые входят в формулу (4). При применении плохого с точки зрения потерь кабеля Вы можете свести на нет выигрыш от использования дорогой и высокоэффективной антенны. Современный кабель средней жесткости состоит из центрального медного проводника, окруженного слоем диэлектрика, внешняя поверхность которого покрыта медной оплеткой, являющейся одновременно и вторым проводником и экраном, и оболочкой из пластика, защищающей кабель от воздействия окружающей среды. Выпускаются также кабели с двойным экраном. В большинстве типов кабеля в качестве диэлектрика используется полиэтилен, а в качестве внешней оболочки – поливинилхлорид.

В таблице 2 приведены типы кабелей, выпускаемых как российскими, так и зарубежными производителями, и их основные характеристики.

Таблица 2

Марка кабеля	Волновое сопротивление, W , Ом	Затухание, дБ, 100 м кабеля на частоте 100 МГц	Диаметр D , мм
PK50-2-11 (PK-119)	50±2	18	4,0±0,3
PK50-4-11 (PK-129)	50±2	10	9,6±0,6
PK50-7-12 (PK-128)	50±2	9	11,2±0,7
PK50-11-13 (PK-48)	50±2	6	14,0±0,8
RG-8	50	5,9	10,3
RG-213	50	7,2	10,3
RG-58	53,5	16,1	4,95

Как видно из таблицы, для разных типов кабелей величина затухания может существенно различаться, при этом наблюдается общая тенденция: чем меньше потери, тем больше диаметр кабеля. Конечно, потери зависят от конструкций и материалов центральной жилы, диэлектрика, оплетки, но тенденция сохраняется.

При этом с увеличением рабочей частоты потери быстро возрастают. Например, на частотах 400 МГц величина потерь для кабеля RG-58 ориентировочно составляет 30...36 дБ, что, в общем, с точки зрения работоспособности АФТ недопустимо. Таким образом, если необходимая длина фидера составляет 50 м и используется кабель RG-58, величина вносимого затухания на рабочей частоте 100 МГц будет равна 8 дБ. Это много. Например, коэффициент усиления хорошей коллинеарной антенны лежит в пределах 7...10 дБ. Комментарии не требуются.

При прокладке кабеля тоже существуют некоторые нюансы. Кабель обладает обычно достаточной гибкостью, однако его перегибы под острыми углами (при радиусе кривизны изгиба менее 15-кратного радиуса кабеля) способны приводить, с течением времени, к усталостным изменениям центральной жилы, ее постепенному проникновению через слой диэлектрика и короткому замыканию с оплеткой. Не рекомендуется свободное подвешивание больших участков кабеля, провисающего под собственным весом.

Мелкие повреждения поверхности внешней защитной оболочки приводят к капиллярному прониканию влаги внутрь кабеля и к потере его электрических характеристик. Поэтому важным компонентом кабеля является материал его оболочки. Оболочка большинства моделей кабеля изготовлена из черного поливинилхлорида, обеспечивает срок службы кабеля 5 лет и маркируется Class 1. Более дорогой материал, также относящийся к ПВХ, обеспечивает долговечность не менее 10-15 лет, защиту от ультрафиолетового излучения и маркируется Class HA. Маркировка оболочки Class IX означает высокую устойчивость к воздействию окружающей среды, химическую инертность и термостойкость до 200 градусов (материал оболочки - разновидность тефлона). В качестве диэлектрика в различных моделях кабеля используется пенополиэтилен (Foamed PE) или вспененный полиэтилен (Air PE), обеспечивающий улучшенную влагозащищенность.

Наиболее слабым местом кабеля, подверженного воздействию влаги, являются его концы или точки соединения, в том числе разъемы. Капиллярное проникание влаги приводит к окислению и постепенному разрушению оплетки и центральной жилы. Для герметизации стыков кабеля могут использоваться как специальные герметики (например Coax Seal), так и обычный пластилин. Существуют также влагозащищенные (но не водостойкие) коаксиальные разъемы UG-21/U, которые могут быть использованы вместо популярных, но не защищенных от влаги разъемов PL-259 и SO-239.

Немаловажным вопросом при установке АФТ является согласование волновых сопротивлений антенны, фидера и выхода передатчика или входа приемника. Условием передачи максимальной мощности (неважно в каком направлении – от антенны к приемнику или от передатчика в антенну) является согласование вышеозначенных волновых сопротивлений. Рассмотрим ситуацию, когда волновые сопротивления выхода передатчика и фидера (кабеля) равны, то есть согласованы, а волновые сопротивления антенны и фидера не равны. В этом случае часть энергии отражается от конца кабеля, присоединенного к антенне, и движется в обратном направлении. В УКВ диапазоне, где потери в фидере составляют значительную величину, можно считать, что отраженная часть энергии практически полностью теряется. На практике качество согласования определяется с помощью коэффициента стоячей волны (КСВ):

$$КСВ = (1 + (P_{отр}/P_{пад})^{0,5}) / (1 - (P_{отр}/P_{пад})^{0,5}),$$

где $P_{отр}$ и $P_{пад}$ – соответственно мощность прямой и отраженной волн.

При этом величину потерь за счет плохого согласования можно выразить следующим образом:

$$I_{отр}(\%) = (КСВ - 1)^2 / (КСВ + 1)^2 \cdot 100.$$

Величина $I_{отр}$ входит в состав коэффициентов $I_{пер}$ и $I_{пр}$ формулы (4). В таблице 3 приведены значения относительной мощности излучения в зависимости от КСВ, рассчитанные по приведенной формуле.

Таблица 3

КСВ	1,0	1,5	2,0	3,0
Относительная мощность излучения, %	100	96	89	75

Из таблицы видно, что даже при $КСВ = 3$, потери из-за отражения достигают всего 25%, а при $КСВ=1,5$ - 4%. Поэтому приемлемым можно считать КСВ, равный 1,5, от силы – 2,0. И дело здесь не в потере 11% мощности, а в рассогласовании АФТ с выходом передатчика, которое оказывает существенное влияние на режим работы последнего вплоть до выхода передатчика из строя. Вот почему тщательная настройка АФТ и контроль его состояния является обязательным. Так же необходимо отметить, что паяные соединения отрезков кабеля обладают измененным волновым сопротивлением и являются источником отраженных волн. Поэтому разъемные соединения являются предпочтительными.

Контроль согласования обычно производится с помощью измерителей КСВ. Простейшие измерители КСВ представляют собой компактный одношкальный прибор со стрелочным индикатором. Абсолютная точность измерений подобных изделий довольно низка (погрешность не менее 15-25 %), однако, ее вполне достаточно для настройки антенны, обеспечивающей минимальный уровень КСВ.

В режиме приема существенную роль начинают играть шумовые свойства АФТ. Шумы АФТ складываются из шумов антенны и шумов фидера. Наличие потерь в фидере говорит о том, что фидер имеет активное сопротивление, которое шумит, как и всякое активное сопротивление, и тем самым вносит дополнительный шум в шумы антенны. Шумы антенны складываются из шумов сопротивления потерь самой антенны, а также всех шумов, принимаемых антенной от внешних источников. Шумы сопротивления потерь антенны обычно малы, и ими пренебрегают. Поэтому внешние шумы, перехватываемые антенной, обычно характеризуют шумовой температурой T_A . Если, например, шумовая температура антенны равна 200°K , это значит, что антенна генерирует такие же шумы, какие генерировало бы активное сопротивление, нагретое до температуры 200°K . При использовании фидера с малыми потерями можно приближенно считать $T_A = T$ (см. формулу (4)). Таким образом, чем больше шумовая температура T и полоса входного тракта приемника Δf , тем хуже $C/Ш$. Здесь необходимо отметить, что в городских условиях мощность собственных шумов АФТ несоизмеримо мала с мощностью помех, принимаемых антенной, от "чужих", работающих на близких частотах (и не только на близких), передатчиков и их гармоники, различные помехи от производственных предприятий, транспорта, атмосферные помехи и т.д.

Поэтому качество связи будет определяться именно этими помехами. Методы борьбы с такими помехами существуют и будут предметом дальнейшего обсуждения в следующей статье.

Подводя итоги, можно сказать следующее:

- В статье приведена формула (4), которая связывает основные параметры радиолинии и дает представление о том, какие параметры и как влияют на качество связи.
- Выбор антенны ЦСМ является ответственным действием, при этом наиболее предпочтительными считаются антенны с большим коэффициентом усиления, почти круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости и наиболее вытянутыми лепестками диаграммы направленности в вертикальной плоскости, максимумы излучения которых располагаются параллельно земле.

- Для уменьшения эффекта "задирания" лепестков ДН в вертикальной плоскости и влияния близко расположенных предметов на ДН в горизонтальной плоскости антенну необходимо устанавливать на 2...3х выше окружающих предметов.
- При покупке кабеля кроме цены и волнового сопротивления необходимо обратить внимание на величину потерь на рабочей частоте. Если длина предполагаемого фидера значительна, кабель должен быть с малыми потерями.
- При настройке антенно-фидерного тракта КСВ не должен превышать величины 1,5...2,0. Рассогласование АФТ с выходом передатчика может привести к выходу из строя последнего.

Приведенные выше рекомендации и оценки факторов, влияющих на дальность и качество связи, относятся к связи поверхностной волной.

III. Методы борьбы с помехами

RADIO

Растущее число телекоммуникационных систем в крупных городах и промышленных центрах, помимо повышения услуг связи, влечет за собой и усложнение электромагнитной обстановки. Государственные требования к радиопередающим средствам устарели, поскольку не предусматривают специальных дополнительных организационно-технических мероприятий при их совместном расположении на одном объекте. Лицензии на операторскую деятельность выдаются службой ГСН без достаточного анализа комплексного воздействия одних РЭС на другие, находящихся на одной или близкорасположенных крышах.

Несколько примеров:

- Один из высотных комплексов зданий в Санкт-Петербурге содержит на крышах соседних зданий (расстояние не более 100м) базовую станцию SKY LINK, районный ретранслятор УВД, систему транкинговой связи, пейджинговую систему, ретрансляторы МЧС и ГУВД. В результате чего чувствительность систем связи снижена из-за повышенного уровня шумов и интермодуляционных помех от действующих передатчиков.
- Особый случай – районы Петроградской и Выборгской стороны непосредственно вокруг телевизионной башни, где общий уровень шумов и помех повышается на 20-30 дБ во всем VHF-UHF диапазоне. – Еще один пример связан с выделением дополнительной частоты для РСПИ, отличающейся от частот пейджинговой компании на 25 кГц, что создает уровень помехи, на выделенной дополнительной частоте, превышающий – 85 дБм. Понятно, что ни о какой дальности связи речи быть не может.

Основные типы помех в УКВ диапазоне:

- Индустриальные – самые ненавистные из них – шумы, создаваемые высоковольтными ЛЭП. Встречаются ситуации, когда измеренный анализатором спектра уро-

вень шума от близко расположенной ЛЭП, наведенного на антенну, превышает - 80 дБм и перекрывает весь радиочастотный диапазон, измеряемый прибором.

- Атмосферные шумы грозовых разрядов менее болезненны. На УКВ в ЧМ они воспринимаются как кратковременные щелчки и могут вызывать сбои при передаче цифровой информации.

- Сверхдальнее прохождение может служить большой проблемой в диапазоне 30-150 МГц, которое имеет периодический характер и связан с 11-ти летним циклом повышенной солнечной активности (максимальная интенсивность наблюдается в период Май-Август). В Санкт-Петербурге на диапазоне 150 МГц наблюдается прохождение сигналов служебных радиостанций из Алматинского региона. Методик устранения не много и заключаются они либо в применении направленных антенн (подходит только для стационарных станций при условии, что помеха приходит с другого направления от полезного сигнала), либо сменой частоты (канала).

- Интерференционные помехи, происхождение которых вызвано неграмотным проектированием ретрансляторов и передатчиков. Их также можно подразделить по источникам возникновения.

Наиболее распространенный источник – пейджинговый передатчик. Следует отметить, что пейджинговые системы представляют, как правило, целую сеть синхронных передатчиков со "сквозными" частотами по региону (например "Единая пейджинговая сеть России"), а разрешенные мощности составляют несколько сотен ватт. В отличие от аналогового (голосового) сигнала, цифровой сигнал имеет более широкую полосу излучения и часто не укладывается в разрешенные 25 кГц, особенно если в качестве передатчика используется обычная мобильная радиостанция. Шумовой спектр такой радиостанции заведомо выше по причине применения в качестве задающего генератора синтезатора частоты (передатчики, имеющие кварцевую стабилизацию, имеют уровень внеполосных излучений примерно на 10 дБ меньше). В результате высокий уровень шумов таких передатчиков вызывает снижение чувствительности расположенных неподалеку приемников, даже если различие между их рабочими частотами составляет несколько мегагерц. Выход из такой ситуации один – установка в антенный тракт высокоселективного фильтра на объемных высокодобротных коаксиальных резонаторах. При добротности фильтра 800 единиц, в VHF диапазоне, при отстройке от несущей частоты уже через 500 кГц шумы будут снижены более чем на 10 дБ, что обычно заметно улучшает условия приема. Но шумы передатчика – это еще полбеда. Расположенный рядом передатчик создает гораздо больше сложностей именно высоким уровнем своей несущей. Но если частотный разнос позволяет, то это легко "лечится" фильтрами, установленными в приемном тракте. Причем, при малом разносе (200-500 кГц в VHF) для получения высокого уровня защиты в 20-60 дБ рекомендуется использовать высокодобротные режекторные фильтры на объемных коаксиальных резонаторах, чьи АЧХ имеют вид узкой щели и "вырезают" только один мешающий сигнал. Если же между рабочими частотами более 1 МГц, то вполне можно применить и полосовые фильтры, которые имеют исключительно узкую полосу пропускания. Это увеличит селективность приемника во всем диапазоне. Источником помех может послужить и совершенно безобидные, на первый взгляд, предметы. Например – ржавый кусок арматуры, прислоненный к металлической ограде, мачте или оттяжке. Секции мачты, имеющие плохой электрический контакт, оттяжки, выполненные без промежуточных изоляторов, некачественно пропайные (особенно по экрану) разъемы. Все эти случаи, когда имеются сомнительные контакты между проводниками, могут послужить источником возникновения интермодуляционных помех. Достаточно только двум электромагнитным сигналам навести в них слабые токи. Поэтому прежде чем запускать систему в эксплуатацию наведите порядок на крыше. Выкиньте весь металлический мусор. Проследите, чтобы при заземлении антенны на мачту между ними действительно был хороший контакт. Проверьте его омметром! Если кронштейн антенны лег на краску или ржавчину – не сомневайтесь в отсутствии контакта! Другой случай, о котором иногда

забывают при создании системы радиосвязи, это возникновение интермодуляционных помех, вызванное "затеканием" через передающую антенну в усилитель мощности передатчика высокочастотных сигналов, излученных соседними антеннами. Как известно, полупроводниковый транзистор выходного каскада, работая в режиме "с отсечкой", является нелинейным элементом и служит источником гармоник. Чтобы этого избежать, необходимо в антенный тракт передатчиков ставить однонаправленные устройства – ферритовые вентили. Они позволяют подавить все сигналы, идущие по фидеру от антенны к передатчику, в том числе и отраженную волну, возникающую при плохом согласовании с антенной. Ферритовые вентили применяют в случае, если частоты соседних передатчиков расположены в полосе не более 4%, где обеспечивается подавление более 30 дБ. При большем частотном разnose их следует применять совместно с полосовыми фильтрами. Если же у вас нет никакой возможности повлиять на владельцев "грязных" передатчиков, то придется от них в буквальном смысле отвернуться. Сделать это позволяют офсетные и направленные антенны. Конечно, при этом может пострадать некоторый сектор территории радиопокрытия, но порой это бывает единственной возможностью, чтобы хоть как-то спасти положение.

Рассмотренные выше случаи предполагали, что причина возникновения помехи и ее характеристики известны. В реальных условиях при возникновении помех решается обратная задача. Сначала необходимо определить путем измерений характеристики приемного и передающего трактов, произвести спектрально-частотный мониторинг вокруг рабочей частоты (частот), попытаться определить направления максимальной интенсивности помехи.

На основании проведенных измерений определяется причина возникновения помехи и методы борьбы с ней. Для проведения измерений используются портативные специализированные комплексные приборы (communication system analyzer – service monitor), сердцем которых является анализатор спектра (шумовой порог -120 дБм, динамический диапазон 80 дБ) с функцией tracking – генератора, специально предназначенные для измерений и настройки приема-передающего связного оборудования.

В качестве примера рассмотрим некоторые способы борьбы со сравнительно мощной помехой создаваемой передатчиком на частоте F_{tx} , отстоящей от частоты приема F_{rx} на величину ΔF :

Основной задачей при расчете и проектировании конфигурации и выборе нужного оборудования является определение необходимых уровней изоляции входных цепей приемника от антенных цепей передатчика. Здесь и далее, под термином "изоляция" подразумевается разница в уровнях сигналов в одной цепи (линии связи), но на разных частотах (для фильтровых систем (рис. 1)), в разных направлениях (для вентилей (рис. 2) и циркуляторов (рис. 4)) или для разнесенных антенн (рис. 3).

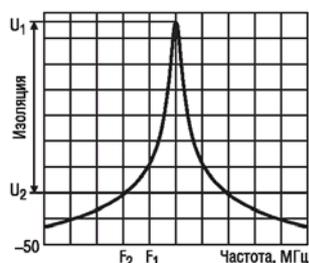


Рис. 1



Рис. 2

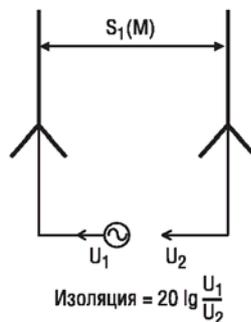


Рис. 3

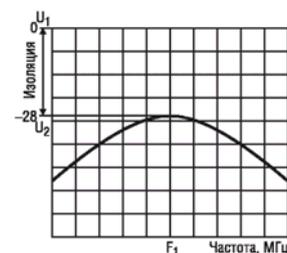


Рис. 4

Изоляция – значение относительное и измеряется в децибелах (dB). Следует сразу заметить, что во всех случаях достижение высокой изоляции всегда сопровождается повышением вносимых потерь сигнала.

Чтобы рассчитать требуемую изоляцию между высокочастотными портами приемника и передатчика, необходимы следующие параметры:

- Частота передачи (Ftx) 164,000 МГц
- Частота приема (Frx) 160,000 МГц
- Мощность передатчика 25 Вт
- Чувствительность приемника (при соотношении сигнал /шум SINAD 12 dB) – 0,15 мкВ

Далее поступайте следующим образом:

- Определите разницу ΔF между частотами передачи Ftx и приема Frx:

$$\Delta F = F_{tx} - F_{rx}, \text{ МГц} \quad \Delta F = 164 - 160 = 4 \text{ МГц}$$

- С помощью графика (рис. 5) определите требуемую изоляцию между ВЧ портами приемника и передатчика на частоте приема (кривая Rx – 1) и на частоте передатчика (кривая Tx – 2). Находим: $i_{Rx} = -23 \text{ dB}$ и $i_{Tx} = -40 \text{ dB}$.

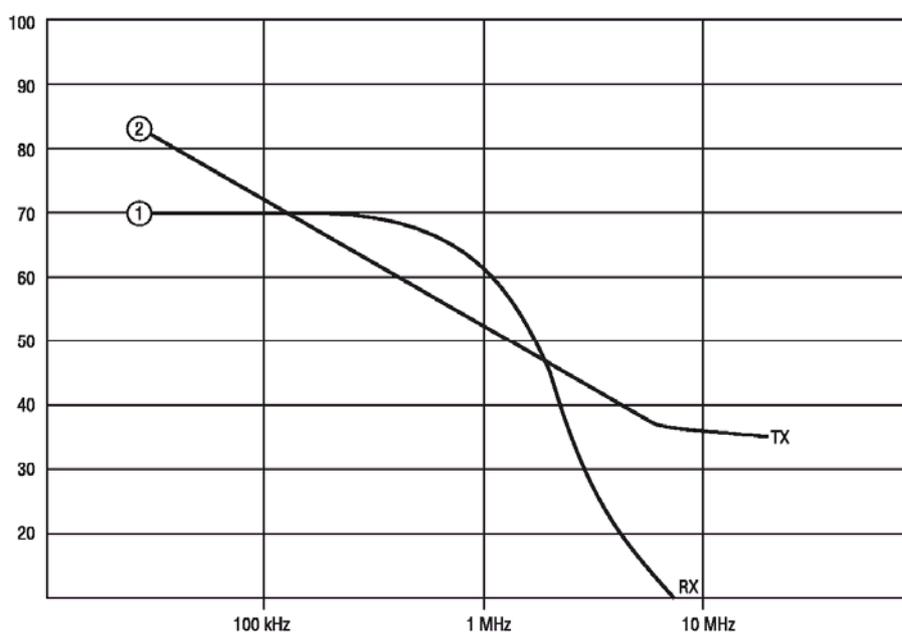


Рис. 5. DUPLEX OPERATION CURVES FOR 138-174 MHz MASTR® II, WITH PLL EXCITER

Хочу сразу пояснить, почему необходимы эти два значения. Дело в том, что при включении близкорасположенного передатчика приемник воспринимает помимо мощного сигнала основной частоты (передатчика – 164 МГц), вследствие ограниченной собственной избирательности, еще и на своей частоте приема 160 МГц его шумы, которые непременно будут возникать в процессе его работы. Однако эти графики, взятые из каталога "Telewave" видимо, рассчитаны на радиостанции, у которых приемники имеют достаточно узкополосные УВЧ (все приведенные графики являются усредненными и дают очень поверхностную информацию, так как эти значения сильно зависят от технических характеристик используемых приемников и передатчиков). Современные же приемники радиостанций, которые в нашей стране чаще всего используются: ICOM, Kenwood, Motorola имеют более широкополосные входные цепи – их полоса пропускания составляет более 8 МГц. А это означает, что любой мешающий сигнал, попадающий в эту полосу, будет усиливаться УВЧ так же, как и полезный сигнал. Динамический диапазон УВЧ примерно равен 70 dB. Отсюда следует, что для достижения паспортной чувствительности приемника в своей полосе пропускания он не должен иметь мешающих сигналов, превышающих 1 мВ по уровню.

Для примера, также приводим график типовой характеристики из каталога американской фирмы "Tx/Rx", инженеры которой усреднили вышеприведенные графики (см. рис. 6).

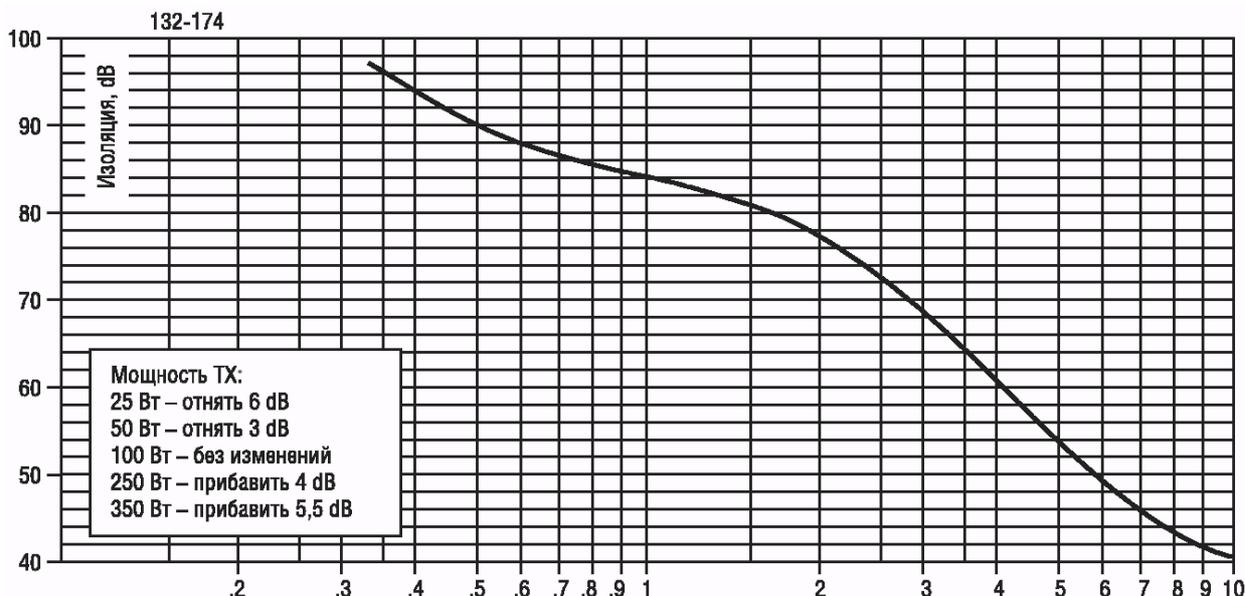


Рис. 6 Частотный разнос, МГц

➤ По номограмме (см. рис. 7) определите значение корректировки по мощности, т.к. кривая Тх нормализована к 65 Вт и при этой мощности не требуется корректировки. Если передатчик имеет меньшую мощность, то из значения iTx нужно вычесть 4 dB (для 25 Вт в нашем примере), при большей мощности, соответственно, добавить.

➤ То же самое необходимо проделать при корректировке значения iRx (номограмма на рис. 8), т.к. кривая Rx подразумевает чувствительность 0,3 мкВ. Если же Вы рассчитываете на более высокую чувствительность приемника, например 0,15 мкВ, то и требование по изоляции должно быть выше – к значению $iRx = 23$ dB прибавить 6 dB.

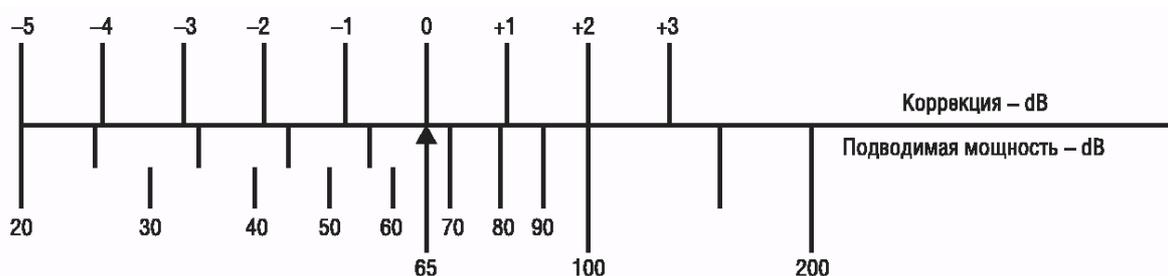


Рис. 7

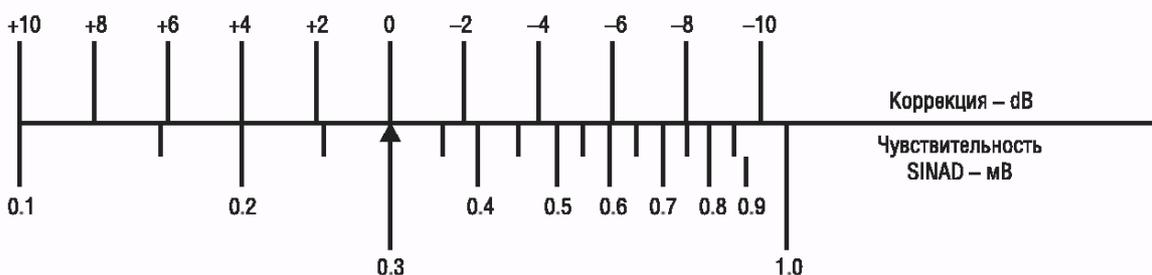


Рис. 8

Итак, теперь мы имеем четкое представление о величине требуемой изоляции приемника от излучения передатчика, которые равны соответственно $iTx = 36$ dB, $iRx = 29$ dB. Только после этого мы можем планировать дальнейшее построение системы.

Рассмотрим влияние передающей антенны (АНТ Тх) передатчика на приемную радиостанцию через ее приемную антенну (АНТ Rx) представленную на (рис. 9). Разница между частотами передачи и приема в 4 МГц для диапазона VHF, при мощности передатчика, составляющей 25 Вт, является типичной ситуацией.

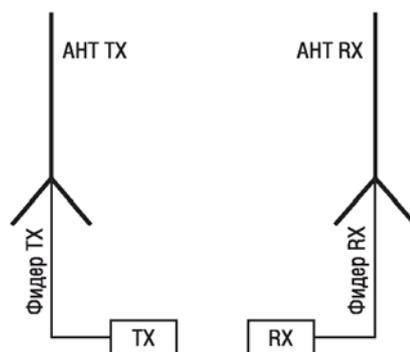


Рис. 9

Первое, с чем сталкиваются создатели такой системы – это "запирание" приемника (Rx) сигналом передатчика (Tx). Дело в том, что любой приемник характеризуется таким параметром, как избирательность. Избирательность автомобильных радиостанций, которые, как правило, применяются в качестве приемных, не высокая. Их входные контура не способны в достаточной мере ослабить сигнал, наводимый в приемной антенне от близкорасположенного передатчика.

В результате реальная чувствительность такого приемника резко снижается, а зона обслуживания существенно уменьшается. Поэтому прежде, чем монтировать антенны необходимо определить минимально допустимое расстояние между антеннами. Это можно сделать с помощью графиков, взятых из каталога "Decibel Products", отображающих зависимость изоляции между двумя антеннами от их вертикального (рис. 10) или горизонтального (рис. 11) разноса.

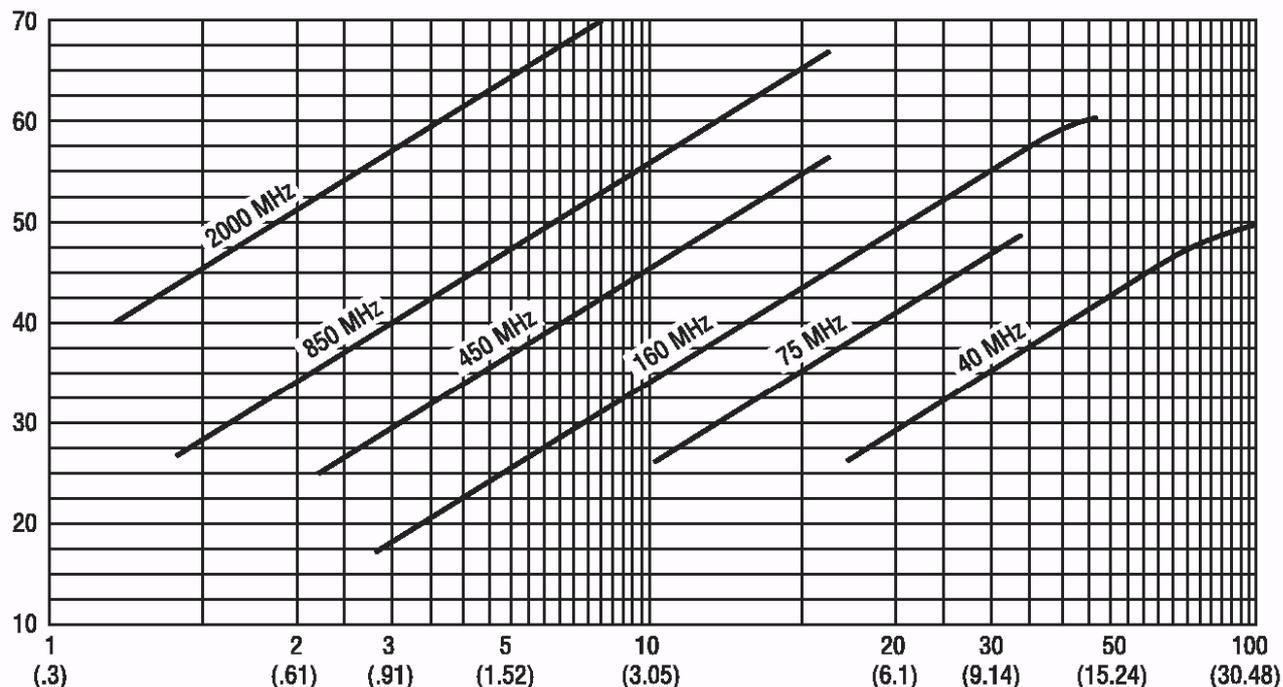


Рис. 10. Зависимость изоляции между антеннами от их вертикального разноса

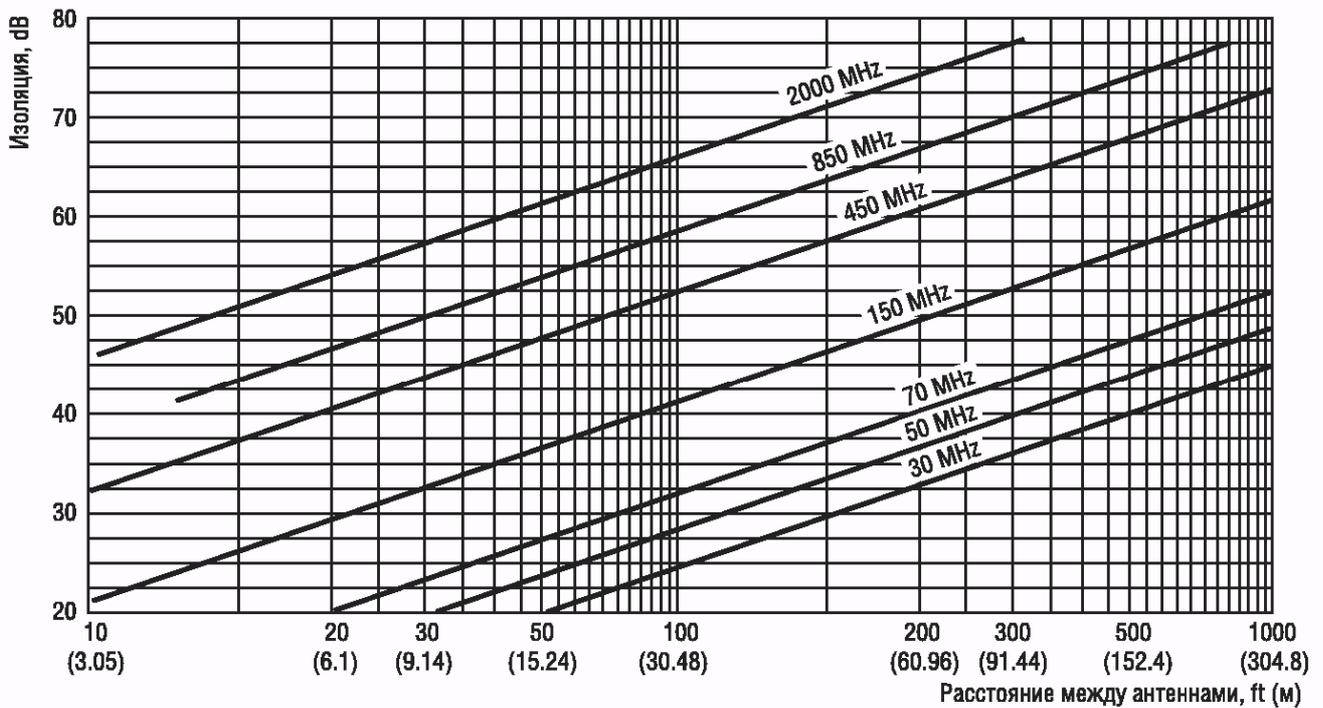


Рис. 11. Зависимость изоляции между антеннами от их горизонтального разнесения

Также понадобится график зависимости изоляции от частотного разнесения FTx/FRx и мощности передатчика (см. рис. 6). Так, по этому графику можно определить, какой минимальный уровень изоляции между передатчиком Tx и приемником Rx требуется для достижения высокой реальной чувствительности. Например, при мощности передатчика $P = 25$ Вт и частотном разнесении 4 МГц изоляция должна быть не менее 54 dB. Из графика на рис. 11 определяем, что для достижения такой изоляции при горизонтальном разнесении потребуется устанавливать антенны на расстоянии около 115 м. Причем, в данном случае расчет ведется относительно антенн с нулевым усилением (полуволновые диполи или четвертьволновые GP). Если же в качестве приемной и передающей антенн используются высокоэффективные коллинеарные антенны с круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости и усилением 6 dB каждая, то вместо 54 dB потребуется уже изоляция в 66 dB, что в свою очередь, увеличит требуемый горизонтальный разнос до 400 м.

При вертикальном разнесении антенн (рис. 10) для достижения требуемой изоляции в 54 dB потребуется вертикальное смещение свыше 9 м. Однако, эта величина имеет чисто теоретическое значение, на практике изоляция оказывается существенно меньше требуемой из-за влияния ряда факторов, не поддающихся точному расчету. Во-первых, это сложность обеспечения полной вертикальной соосности фазовых центров обеих антенн, во-вторых – искажение диаграмм направленности из-за влияния окружающего "железа" (мачтовые конструкции, растяжки, надстройки расположенные в поле "ближней зоны" и сама крыша), вызывающего непредсказуемые переотражения. Поэтому при использовании вертикального разнесения антенн можно полагаться только на результаты проведенных измерений величины изоляции.

Следующим шагом, является включение в цепь приемника, а по возможности и передатчика, полосовых фильтров (рис. 12). Для обеспечения высокой добротности их обычно выполняют на основе одного или нескольких четвертьволновых коаксиальных объемных резонаторов (на рис. 13 представлен одиночный резонатор VHF диапазона). Любой полосовой фильтр определяется следующими основными характеристиками:

- Нагруженная добротность – относительная величина (численно равная отношению резонансной частоты к величине полосы пропускания фильтра), обычно у резонаторов диаметром пять дюймов лежит в пределах 400-500, у восьмидюймовых – 700-800 единиц, а для десятидюймовых составляет 800-900 единиц.

- Потери в полосе пропускания, dB. Обычно применяют фильтры с потерями не более 3-4 dB, но в некоторых случаях и до 6 dB.
- Полоса пропускания по уровню – 3dB.
- Волновое сопротивление – как правило, 50 Ом.
- Максимальная подводимая мощность – обычно не более 350 Вт.

Все эти параметры очень важны при построении антенно-фидерного тракта. Так, по АЧХ фильтра диаметром восемь дюймов (например, PF8-1V выпускаемого фирмой "Радиал"), который планируется использовать в приемном тракте (рис. 12), определяем, что, настроив фильтр с потерями -1,5 dB в полосе пропускания (например, на частоте приема 160 МГц), сигнал передатчика с частотой 164 МГц будет ослаблен на 37 dB (рис. 14). Если же еще удастся установить фильтр в цепи передатчика, то его шумы с частотой 160 МГц уменьшатся на 35 dB. В этом случае потребуется уже гораздо меньшая изоляция между антеннами: $66-35=31$ dB, а, значит, и меньший горизонтальный разнос между антеннами (около 45 м).

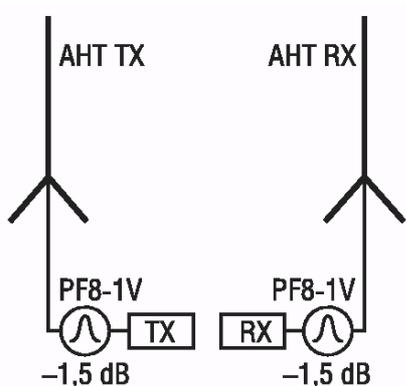


Рис. 12



Рис. 13

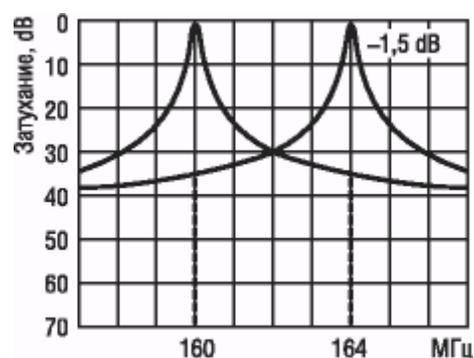


Рис. 14

Вообще, в данной ситуации было бы грамотнее применять вместо полосовых фильтров полосно-режекторные с гораздо большими возможностями по изоляции (рис. 15).

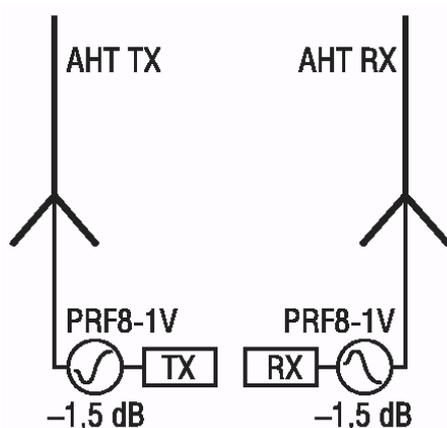


Рис. 15

Характеристика такого фильтра (например, PRF8-1V) имеет несимметричную форму с одним достаточно крутым скатом и точкой режекции F_a , порой достигающая глубины -40 dB и способной перемещаться по частоте в зависимости от настройки. При этом глубина режекции меняется, когда изменяется частотный разнос (рис. 16). Ослабление режекции при значительном сближении точек F_a и F_b можно восстановить, внося

дополнительные потери в полосе пропускания (точка В), путем настройки поворотной площадки фильтра.

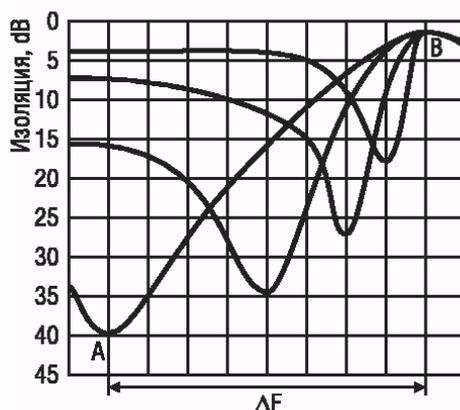


Рис. 16

Такие фильтры устанавливаются следующим образом: в антенной цепи приемника включают фильтр, настроенный полосой пропускания на частоту приема, а полосой режекции на частоту передатчика. И если есть возможность в антенной цепи передатчика – наоборот, полосой пропускания на частоту передатчика, а полосой режекции на частоту приема. Характеристика этого фильтра позволяет пропускать мощный сигнал передатчика в передающую антенну и при этом давить его шумы на частоте приемника (рис. 16). Тогда влияние передатчика на приемник будет ослаблено уже на 35 dB и до необходимой величины изоляции в 66 dB (с учетом коэффициентов усиления антенн) не хватает 31 dB, которые достигаются при разноразности антенн на 45 метров.

Следует, однако, учитывать, что общая избирательность полосно-режекторных фильтров в широкой полосе частот существенно уступает полосовым фильтрам и тем более комбинации полосовых и режекторных фильтров.

Таким образом, во-первых, приведенные в статье методика и графики позволяют ориентировочно оценить уровень изоляции входных цепей приемника от антенных цепей передатчика, расстояние между приемной и передающей антеннами в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также определить структуру приемного и передающего трактов. Во-вторых, применение специальных полосовых и режекторных фильтров в приемных и передающих цепях существенно снижает уровень помех на входе приемника, что, в свою очередь, улучшает качество и увеличивает дальность приема.

Литература:

1. Ротхаммель К. Антенны: Пер. с нем. 1-ое полное издание, СПб.: Издательство "Бояныч", 1998, 656 стр., ил.
2. Радиосистемы передачи информации: Учеб. пособие для вузов/ И.М. Тепляков, Б.В. Рошин, А.И. Фомин, В.А. Вейцель; Под ред. И.М. Теплякова. М.: Радио и связь, 1982, 264 с., ил.
3. Белкин В. Радиоканал системы передачи извещений: ж. Алгоритм безопасности, №2, №3 2004г
4. Борейшо А. Методы борьбы с помехами: ж. Алгоритм безопасности, №4, 2004г.