

Сверхдальние связи на УКВ

Автор: кандидат физико-математических наук Биленко И.А., UA3AOG

Портативные радиостанции двухметрового диапазона завоевывают сердца российских радиолюбителей. Цены на «Айкомы» и «Алинки» стремительно падают, те, для кого они пока все же дороги, перестраивают увесистые «Транспорты» и «Маяки», мастерят что-то сами. Для одних это - возможность пообщаться с коллегами по хобби, для других - средство доступа к пакетным BBS и DX кластерам. Есть, к сожалению, и те, кто считает любительскую станцию бесплатным мобильным телефоном.

Но есть и еще одна категория ультракоротковолновиков - те, кто увлекается дальними связями. УКВ DX-инг - трудное занятие, требующее большого терпения и постоянного совершенствования техники, но дающее взамен неповторимые ощущения радости от каждой новой связи, прикосновения к удивительным явлениям природы. Можно утверждать, что УКВ DX-исты - это элита радиоспорта. В этой статье мы коротко расскажем об особенностях таких связей, о необходимой технике и о том, как стать УКВ DX-оператором.

Основные понятия и немного теории.

Ультракороткие волны распространяются в пределах прямой видимости - фраза из школьного учебника. На самом деле чаще всего в атмосфере существует небольшая нормальная рефракция - волна в приземном слое слегка «загибается», в результате чего дальность связи при небольших мощностях и отсутствии препятствий составляет 30-100 км. Будем условно называть дальними связи на расстояния, превышающие эту величину. Есть несколько физических механизмов, делающих возможными такие радиосвязи. В этой статье мы перечислим их и коротко расскажем об их особенностях.

На западе энтузиастов УКВ DX связи, работающих на любительских диапазонах 144 MHz (VHF) и 432 и выше (UHF) часто называют weak signal operator - «оператор, работающий со слабыми сигналами». Действительно, очень часто приходится иметь дело со значительным затуханием сигналов на трассе. Мощность, излучаемая в направлении корреспондента (называемая на жаргоне «энергетикой»), качество приемника, потери в кабеле, уровень шумов в месте расположения станции - все имеет при этом большое значение.

В этом разделе мы покажем, как, используя очень простые вычисления, можно

оценить параметры своей станции и возможность установления связи в тех или иных условиях. Те, кому они покажутся сложными (или скучными) могут сразу перейти к следующему разделу, вернувшись к расчетам, если появится необходимость.

Каждую станцию можно характеризовать набором параметров, и требования к этим параметрам различны для разных видов связи. Мы будем использовать термин эффективно излучаемая мощность (ERP - от английских слов Effective Radiated Power) который характеризует передающий тракт. ERP измеряется в децибелах и может быть вычислена по формуле

$$ERP = \text{Log}(P_{\text{out}}/1\text{Вт}) + K_{\text{ant}} - K_{\text{fider}}$$

Здесь P_{out} - выходная мощность передатчика в ваттах, K_{ant} и K_{fider} - соответственно, коэффициент усиления антенны по отношению к изотропному излучателю и суммарные потери в кабеле, выраженные в децибелах. Например, станция мощностью 1 Вт напрямую подключенная к дипольной антенне имеет ERP примерно 2 dB ($K_{\text{ant}}=2.15$ dB, $K_{\text{fider}}=0$ dB).

В отличие от КВ радиосвязей, существенное значение имеет поляризация излучаемой волны. Плоскостью поляризации называется ориентация в пространстве вектора электрической компоненты поля. Для простой вибраторной антенны эта плоскость совпадает с плоскостью, в которой расположены элементы. Коэффициент ослабления в случае, когда поляризация принимаемой волны и приемной антенны не совпадают, зависит от угла между ними: $K_{\text{polar}} = -20 \text{ Log}(\sin \alpha)$. Теоретически при $\alpha=90^\circ$ затухание стремится к бесконечности, на практике оно достигает 20 dB. В городских условиях может эта величина обычно составляет 5..15 dB за счет приема отраженных от окружающих предметов волн. Кроме вертикальной и горизонтальной в любительской радиосвязи используется круговая поляризация. У волны с круговой поляризацией вектор электрического поля вращается, совершая полный оборот за каждый период колебания. Преимуществом круговой поляризации является то, что изменение взаимной ориентации приемной и передающей антенны, так же, как и поворот плоскости поляризации волны в процессе распространения не вносит дополнительного затухания. Недостатком является необходимость использования более сложных и громоздких антенн. Надо так же отметить, что возможны два противоположных направления вращения плоскости поляризации, соответственно если они окажутся различными для принимаемой волны и приемной антенны, то дополнительное затухание теоретически стремится к бесконечности. Поэтому такие антенны иногда оборудуют переключателем, позволяющим менять направление вращения плоскости поляризации. При приеме волны с круговой поляризацией, на антенну с линейной поляризацией (и наоборот) затухание составляет 3 dB.

Минимальный уровень принимаемого сигнала зависит от усиления приемной антенны, потерь в фидере, собственных шумов приемника и полосы принимаемых частот.

Чувствительность приемного тракта, выраженная в децибелах по отношению к мощности в 1 Вт, может быть вычислена по формуле

$$S = -10 \log(4kTDF / 1 \text{ Вт}) - K_{\text{noise}} - K_{\text{fider}} + K_{\text{ant}}$$

Где k - постоянная Больцмана, T - температура окружающей среды, DF - полоса приемника, K_{noise} - шум-фактор приемника в dB. При $T=300 \text{ K}$ и $DF=100 \text{ Hz}$ получаем:

$$S = 177.8 - K_{\text{noise}} - K_{\text{fider}} + K_{\text{ant}}$$

Шум-фактор приемника определяется качеством входного каскада и для современных транзисторов может достигать 0.3-1 dB в диапазоне 144-146 MHz. Соотношение сигнал/шум на выходе приемника в отсутствие дополнительных внешних шумов и помех:

$$S/N = ER_{\text{PTX}} - K_{\text{loss}} - K_{\text{polar}} + SRX$$

Здесь K_{loss} - затухание сигнала.

(Здесь принимается, что K_{fider} , K_{loss} , K_{polar} , K_{noise} и K_{ant} - положительные величины).

Теоретически прием сигнала возможен, если S/N больше 0 dB. На практике, опытные радисты способны разбирать телеграфный сигнал (CW) даже тогда, когда он на 10..13 dB ниже уровня шумов. На самом деле в этом случае эффективная полоса приема определяется не приемником, а адаптивным фильтром, роль которого играет мозг радиста (при скорости передачи 40 знаков в минуту информационная полоса сигнала составляет примерно 5 Hz). Уверенный прием телефонного сигнала возможен, если он превышает шум примерно на 6..10 dB для однополосной модуляции (SSB) и на 10..15 dB для частотной (FM).

Использование современных транзисторов позволяет без особого труда получать шум-фактор приемника менее 2..3 dB в диапазоне 144-146 MHz, так что различие станций по этому параметру невелико. Для дальнейшего упрощения можно ввести понятие «среднестатистического» корреспондента. Для DX связей в диапазоне 144-146 MHz это станция с передатчиком 50-100 Вт и усилением антенны 10-13 dB (если только речь не идет о EME связях - см. ниже). Тогда возможность установления связи зависит только от затухания сигнала в процессе распространения и собственного ERP.

Подчеркнем, что приведенные здесь вычисления не являются строгими и пригодны лишь для приближенных оценок. Тем, кто желает более глубоко разобраться в методах анализа каналов связи и оптимального приема, можно рекомендовать книгу [1].

Механизмы дальнего распространения УКВ.

Рассмотрим теперь вкратце основные виды дальнего прохождения УКВ.

1. Рассеяние радиоволн на неоднородностях тропосферы.

Наблюдается практически всегда, но для практического использования необходима достаточно хорошая энергетика. Коммерческие тропосферные каналы с ERP=60 dB и более обеспечивают стабильную связь на расстояниях порядка 300 км. При типичных для любительской УКВ DX станции ERP порядка 30 dB за счет рассеяния достаточно часто удается проводить CW связи на расстояние до 400 км. Так, по опыту участия автора в соревнованиях по радиосвязи на УКВ в течение многих лет, связи на трассах Москва-Воронеж, Москва-Нижний Новгород имели место в 80% соревнований. Затухание на трассе существенно зависит от погодных условий и уменьшается в ночное время. Вращение плоскости поляризации незначительно. Телеграфные сигналы дальних станций часто имеют характерный дрожащий тон.

2. Тропосферное прохождение ("Тропо").

Коэффициент рефракции в тропосфере зависит от того, как меняется с высотой температура, давление и влажность воздуха. Увеличению его способствует повышенное давление (антициклон), а также температурная инверсия - ситуация, когда температура воздуха с высотой не понижается, а повышается. Наблюдается чаще в ночное время и утренние часы. Повышенная рефракция дает возможность проводить связи на расстояния 100...400 км станциям с ERP порядка 10. Иногда коэффициент рефракции достигает такой величины, что волна, "загибаясь" в тропосфере, падает на поверхность земли, отражается от нее, и повторяет такие скачки многократно (сверхрефракция). Говорят, что в тропосфере образуется волноводный канал. При этом дальность связи может достигать нескольких тысяч километров. Необходимая энергетика обычно выше, чем в случае простой рефракции, но может быть весьма различной в каждом конкретном случае. Вращение плоскости поляризации также незначительно. Известно, что созданию таких условий способствует перемещение атмосферных фронтов. Надо отметить, что явление это достаточно редкое и изучено оно далеко не полностью.

3. "Аврора" - отражение радиоволн от приполярных областей ионосферы во время магнитных бурь.

Поскольку спектр сигнала существенно меняется, телеграф является существенно более предпочтительным. Сигнал принимается в виде характерного "шипения". От силы возмущения зависит, насколько далеко на юг распространится область, в которой наблюдается прохождение. Если для северных областей это достаточно частое явление, то границ Украины "аврора" достигает 1-2 раза в год. Наиболее вероятное время суток - 14-17 и 21-24 UT. Для центральной России обычными являются корреспонденты из Скандинавских стран, более редкими (и желанными) - Дании, Германии, Польши. Иногда признаком "Авроры" является появление на КВ диапазонах северных станций с искаженным, "шипящим" тоном (на фоне общего ухудшения прохождения). Необходимым ERP можно считать уровень 25-30 dB. Антенну, как правило, следует направлять на север, с отклонениями до 300 . В отличие от предыдущих случаев,

поляризация может существенно меняться, хотя существует мнение, что использование одинаковой поляризации обоими корреспондентами предпочтительно.

4. Спорадическое (Es) прохождение возникает при образовании в ионосфере (слой E) под влиянием интенсивной солнечной радиации "облаков" с МПЧ, превышающей 144 MHz.

Наиболее вероятное время года - с мая по август, время суток - со второй половины светового дня до полуночи. Более вероятно в южных районах, где чаще всего и происходит формирование "облаков", которые затем могут перемещаться на север. Отличается чрезвычайно малым затуханием при расстояниях между корреспондентами 1-2 тысячи километров. Шансы на проведение дальних связей имеют даже те станции, ERP которых меньше 10 dB. Известны случаи установления сверхдальних связей при помощи портативных радиостанций. Обнаружить приближение "спорадика" можно по появлению дальних радиостанций в УКВ вещательных диапазонах или сигналов дальних телецентров на 2-12 каналах (автор был свидетелем того, как, по мере перемещения "облака", телепередачи одной страны сменялись программами другой). Поляризация не сохраняется. С целью экономии времени лучше использовать SSB или FM.

5. Связь с отражением от метеорных следов (Ms)

является весьма специфической ввиду того, что области ионизации, появляющиеся в результате сгорания в атмосфере метеоритов, существуют весьма короткое время (от долей секунды до нескольких секунд, очень редко - десятки секунд). Количество метеоров резко возрастает во время прохождения Землей метеорных потоков, наиболее мощный из которых - августовские Персеиды. Связи проводятся либо SSB, либо с использованием высокоскоростной телеграфии (HSCW). Применение компьютеров для передачи и приема HSCW существенно облегчает работу. Расчет оптимального времени и направления так же удобно выполнять с помощью компьютерных программ. Минимальным ERP для успешной работы можно считать уровень в 30 dB (средняя MS станция обычно имеет мощность порядка 300 Вт и 1-2 этажа антенн длиной 4-8 м.). Следует использовать антенны с горизонтальной поляризацией.

6. "Ионо" (FAI)

- связь за счет рассеяния на неоднородностях ионосферы. Позволяет устанавливать связи на значительные расстояния (1 - 2 тысячи километров). Затухание на трассе, как правило, достаточно велико, поэтому требуется хорошая энергетика, сравнимая с используемой для EME связей (см. ниже).

7. Использование отражения сигналов от Луны (EME)

позволяет устанавливать связи практически на любые расстояния. В то же время огромное затухание на трассе (252 dB для частоты 144 MHz) требует применения совершенной аппаратуры и антенн с большим усилением. Для того, что бы услышать

собственное эхо (время распространения сигнала до Луны и обратно - около 3 секунд), необходимо иметь ERP порядка 50 dB (типичная радиостанция "начинающего лунатика" имеет мощность передатчика 1 kW и стек из 4-х антенн "волновой канал" длиной 6-8 м каждая) при условии, что шум-фактор приемника и потери в фидере не превышают 0.5 dB. При меньших величинах ERP можно установить связь, если у корреспондента имеется "запас" по усилению антенны. Плоскость поляризации волны изменяется при прохождении ею ионосферы (эффект Фарадея), что при применении антенн с линейной поляризацией вызывает периодические "замирания" сигнала. Тем не менее в диапазоне 144-146 MHz антенны с круговой поляризацией для EME используют крайне редко ввиду их громоздкости. Подготовка к работе через Луну требует вложения значительных сил и средств. Необходимо учитывать такие факторы, как уровень помех в месте расположения станции, необходимость построения антенной системы больших размеров, вращающейся в двух плоскостях, возможность возникновения помех от мощного передатчика приема телевидения и радио. Наградой за труды является возможность проводить связи практически со всем Миром (причем, в отличие от КВ диапазонов, сигналы станций Украины и Австралии слышны с одинаковым уровнем). Можно сказать, что EME - это своего рода Эверест для ультракоротковолновиков.

8. Отдельно следует упомянуть работу через любительские спутники-ретрансляторы.

Хотя такие связи не считаются УКВ DX - ингом, поскольку используется бортовая приемно-усилительная аппаратура спутника, чаще всего через спутники работают именно ультракоротковолновики, имеющие необходимую аппаратуру. В настоящее время на околоземной орбите находится более 2 десятков радиолучительских спутников. Часть из них имеет на борту линейные ретрансляторы, принимающие сигналы в участке одного любительского диапазона, и передающие их на другом диапазоне. Самыми простыми для использования являются отечественные спутники серии "Радио", ретранслирующие сигналы из участка 145.8-146 МГц в участок 29.5-29.7 МГц. Для работы можно использовать даже ненаправленные антенны. Спутники иностранного производства обычно имеют ретрансляторы 145/435 МГц, а так же используют диапазоны 1296 и 2300 МГц. Для работы, как правило, используется CW или SSB. Кроме того, на многих спутниках имеется цифровая информационная система, похожая на наземные BBS.

С чего начать?

Что нужно, для того, что бы проводить дальние связи на УКВ? Разумеется, комплект аппаратуры. Для начала это может быть самая простая носимая или автомобильная ЧМ станция, хотя для серьезного занятия необходимо планировать приобретение или изготовление трансивера со всеми видами модуляции и плавной перестройкой частоты. Наилучшим вариантом являются аппараты типа FT736 фирмы YAESU, TS790 фирмы Kenwood, IC830 фирмы ICOM. Они имеют 2 диапазона - 144 и 432 MHz, возможность установки дополнительных модулей на 1296 и 2300 MHz, высококачественный приемный тракт. Кроме того, эти аппараты имеют специальные дуплексные режимы для работы

через спутники. К сожалению, цена таких аппаратов достаточно высока. Экономичным решением может стать создание самодельного трансвертера к имеющемуся КВ трансиверу. Схемы таких трансвертеров можно найти в журналах «Радио»; прошлых лет или в издании [2].

Если у Вас нет КВ трансивера, и Вы планируете его приобрести, хорошим вариантом может стать универсальный КВ/УКВ аппарат типа FT757, IC746, FT100 или IC706. Надо только заметить, что последние две модели, являясь малогабаритными, имеют плохую избирательность, и в районах с большим уровнем помех необходимо будет использовать внешние входные фильтры.

Особое внимание следует уделить выбору антенной системы. Антенна обязательно должна быть направленной и вращающейся. Хорошим вариантом для начала можно считать антенну «волновой канал» с длиной траверсы 4-6 м (см., например, [3]). Для самостоятельного изготовления следует выбирать проверенные конструкции, например, разработанные немецким радиолюбителем DJ9BV. Такая антенна весит всего несколько килограмм и для управления ею можно использовать простые компактные поворотные устройства. Подойдет, например, доработанный привод ПР2 (используется в вентиляционных системах). Можно изготовить привод самому, или приобрести импортный привод для вращения телевизионных антенн, например Nippon R7000. В сельской местности можно обойтись без привода, установив мачту так, что бы ее можно было вращать руками, контролируя при этом уровень сигналов. Традиционно для дальних связей используется горизонтальная поляризация, однако все зависит от того, какие виды прохождения вы собираетесь использовать и какую поляризацию используют ваши потенциальные корреспонденты. Наилучшим вариантом, конечно, будут две антенны на одной траверсе с переключателем, но возможны и компромиссы. Например, если установить «волновой канал» с усилением 14 dB так, что бы угол между элементами и горизонталью составлял около 25°, то дополнительные потери для горизонтально поляризованной волны составят всего 0.9 dB, а для вертикально поляризованной - 7 dB. Таким образом, мы получаем антенну с усилением около 13 dB для горизонтальной (основной) поляризации и 7 dB - для вертикальной (дополнительной). Большую роль играет размещение антенны. Причем собственно высота может и не играть существенной роли для многих видов дальних связей, главное, что бы важные направления не были закрыты постройками или другими близкорасположенными препятствиями (хотя волна способна огибать препятствия за счет явления дифракции дополнительное затухание при этом может оказаться слишком большим).

Желательно так же обзавестись минимальным комплектом измерительной техники. В нем обязательно должны быть измеритель КСВ/мощности для контроля и настройки антенн и передатчика и генератор шума для измерения параметров приемника.

Хотя среди части коротковолновиков бытует мнение, что телеграф - это устаревший вид связи, не зная его, нельзя считать себя серьезным УКВ DX оператором. Причем требования здесь минимальны - необходимо уверенно принимать на слух хотя бы 30-40 знаков в минуту. Примером могут служить ежегодные соревнования «Полевой

день" - 99% связей в них проводится телеграфом и многие операторы (известные своими достижениями на УКВ) работают именно с такой скоростью. Поверьте - это совсем не трудно, особенно, если у вас есть компьютер - потребуется всего 3-4 месяца регулярных (!) занятий плюс прослушивание любительского эфира и вы овладеете настоящим "языком" радио.

Для определения местоположения станций и расчета расстояний между ними используются так называемые квадраты QTH локатора. В настоящее время используются 6-значные обозначения (например, KO85SQ) которые передаются при каждой связи. Количество "больших" квадратов (первые 4 знака) является одним из основных критериев достижений на УКВ. Определить собственный локатор можно по формулам, зная свои географические координаты (см. [4]).

Если аппаратура и антенны уже есть, можно начинать охоту за DX.

На диапазоне 2 м частотой общего вызова для станций, работающих телеграфом, является 144,050 MHz, SSB - 144.300 MHz. К сожалению, в силу известных причин, активность на УКВ в России очень не велика. В то же время, сейчас во многих крупных городах работают репитеры. Наблюдая за частотами репитеров из соседних областей, можно обнаруживать появление дальнего прохождения.

Во многих регионах есть "свои" частоты, на которых собираются станции, работающие FM. Например, на севере Московской области это - 145,500. Наконец, можно договариваться со станциями, находящимися на расстоянии 100-300 км о частоте и времени регулярных трафиков.

Информация.

Для обмена информацией о прохождениях существует круглый стол УКВ на диапазоне 20 м. Он проходит на частоте 14,345 MHz по воскресеньям с 11 до 14 UT. На этой же частоте обычно договариваются о проведении MS и EME связей. Еще один круглый стол работает по вечерам на частоте 3,778 MHz.

Много ценной информации содержат издания [2,3], однако с момента их выхода прошло уже достаточно много времени. Статьи, посвященные особенностям и технике дальней УКВ радиосвязи встречаются в журналах "Радио",, "Радиолюбитель КВ и УКВ" и "Радиоаматор".

В данной статье не рассматривались особенности диапазонов 50 MHz (работа на нем Российским радиолюбителям пока не разрешена), а также 432 MHz и выше - диапазон 144-146 MHz был выбран как наиболее популярный. Экзотические виды связи, такие как, например, использующие отражение радиоволн от пролетающих самолетов, равно как и множество тонкостей, касающихся дальних УКВ связей так же остались вне рамок этой обзорной статьи. Дерзайте, и вы откроете для себя удивительный мир УКВ DX.

Литература:

Сверхдальние связи на УКВ

Автор: RV4YV

31.03.2015 23:37 - Обновлено 15.12.2015 13:27

1. Радиотехнические цепи и сигналы. Гоноровский И.С. М.:1997
2. Любительская УКВ радиостанция. Жутяев С.Г. М.:1981
3. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. Беньковский З. Липинский Э. М.:1983
4. Новая система QTH - локатора. Бубенников С. "Радио" 1984 №12 с.11.
5. Прогноз тропосферного прохождения. Бубенников С. "Радио" 1980 №2 с.15-16.
6. Проведение метеорной связи. Бубенников С. Бектов В. "Радио" 1981 №5-6 с.31-32.
статья опубликована на Российском УКВ портале <http://www.vhfdx.ru>