

Носимые радиостанции двухметрового диапазона завоевывают сердца российских радиолюбителей. Цены на «Айкомы» и «Алинки» стремительно падают. Для кого они, тем не менее, пока недоступны перестраивают увесистые «Транспорты» и «Маяки», мастерят что-то сами. Для одних такая аппаратура - возможность пообщаться с коллегами по хобби, для других - средство доступа к пакетным BBS и DX кластерам. Встречаются, к сожалению, «умники», считающие любительскую станцию бесплатным мобильным телефоном. Но еще более редкая категория ультракоротковолновиков - те, кто увлекается дальними связями. УКВ DX-инг – занятие трудное, требующее большого терпения и постоянного совершенствования техники и навыков. Но зато взамен - неповторимые ощущения радости от каждого нового QSO, прикосновения к удивительным явлениям природы. Утверждают, что УКВ DX-исты - элита радиоспорта. В этой статье я расскажу о некоторых особенностях дальних УКВ связей, необходимой для этого 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 – траектория распространения волны в приземном слое слегка “изгибается”. В результате дальность связи на малых мощностях при отсутствии препятствий составляет 30-100 км. Дальними условно назовем связи на расстояния, превышающие эту величину. Известно несколько физических механизмов, определяющих особенности проведения таких радиосвязей.

На западе энтузиастов УКВ-DX, работающих на любительских диапазонах 144 (VHF), 432 МГц 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 сигнала, излучаемого в направлении корреспондента (иногда на жаргоне – «энергетика сигнала»), качество приемника, потери в АФУ, уровень помех в месте расположения станции - все имеет большое значение.

В этом разделе мы покажем, как путем простых вычислений оценить параметры своей станции и возможность установления дальней УКВ связи в различных условиях. Если расчеты покажутся сложными (или скучными), то переходите к следующему разделу.

Каждую станцию можно характеризовать рядом параметров, и требования к ним различны для разных видов связи. Мы будем использовать термин **эффективно излучаемая мощность** (ERP - от английского Effective Radiated Power или ЭИМ) которая характеризует передающий тракт. ЭИМ измеряется в децибелах и вычисляется по формуле:

$$\text{ЭИМ} = \text{Log}(P_{\text{вых}}/1\text{Вт}) + K_{\text{ант}} - K_{\text{каб}}$$

Здесь $P_{\text{вых}}$ - выходная мощность передатчика в ваттах, $K_{\text{ант}}$ и $K_{\text{каб}}$ - 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 дБ ($K_{\text{ант}}=2.15$ дБ, $K_{\text{каб}}=0$ дБ).

В отличие от КВ, здесь существенное значение имеет поляризация электромагнитной волны. Плоскостью поляризации называется плоскость ориентации в пространстве вектора электрической составляющей поля. Для простой вибраторной антенны эта плоскость совпадает с плоскостью, в которой расположены её элементы. Коэффициент ослабления в случае, когда поляризация принимаемой волны и приемной антенны не совпадают, зависит от угла между ними: $K_{\text{поляри}} = -20 \text{ Log}(\sin \alpha)$. Теоретически при $\alpha=90^\circ$ затухание стремится к бесконечности, на практике оно может достигать 20 дБ. В городских условиях эта величина обычно составляет 5-15 дБ за счет переотражения. Кроме вертикальной и горизонтальной в любительской радиосвязи используется круговая поляризация. У волны с круговой поляризацией вектор электрической составляющей 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 изменение плоскости поляризации волны в процессе её распространения не вносит дополнительного затухания. Недостатком является сложность и громоздкость 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. Несоответствие типов поляризации приемной и передающей антенн приводит к дополнительному затуханию в 3 дБ.

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

$$S = -10 \log(4kT\Delta F / 1 \text{ Вт}) - K_{\text{шум}} - K_{\text{каб}} + K_{\text{ант}}$$

Где k - постоянная Больцмана, T - температура окружающей среды, ΔF - полоса приемника, $K_{\text{шум}}$ - шум-фактор приемника в дБ. При $T=300 \text{ К}$ и $\Delta F=100 \text{ Гц}$ получаем:

$$S = 177.8 - K_{\text{шум}} - K_{\text{каб}} + K_{\text{ант}}$$

Шум-фактор приемника определяется качеством входного каскада. Для устройства выполненного на современных транзисторах он может достигать 0.3-1 дБ в диапазоне 144-146 МГц. Соотношение сигнал/шум на выходе приемника при отсутствии дополнительных внешних шумов и помех:

$$C/Ш = ЭИМ_{\text{прием}} - K_{\text{прием}} - K_{\text{поляри}} + S_{\text{передач}}$$

Здесь $K_{\text{зат}}$ - затухание сигнала.

(Принимается, что $K_{\text{каб}}$, $K_{\text{зат}}$, $K_{\text{поляри}}$, $K_{\text{шум}}$ и $K_{\text{ант}}$ - положительные величины).

Теоретически прием сигнала возможен, если $C/Ш$ больше 0 дБ. На практике, опытные радисты способны разбирать телеграфный сигнал (CW) даже тогда, когда он на 10...13 дБ ниже уровня шумов не забывая, что узкая полоса при CW уже улучшает соотношение $C/Ш$. На самом деле в этом случае эффективная полоса приема определяется не радиоприемником, а адаптивным фильтром, роль которого играет мозг радиста (при скорости передачи 40 знаков в минуту информационная полоса сигнала составляет примерно 5 Гц). Уверенный прием телефонного сигнала возможен, если он превышает шум примерно на 6..10 дБ для однополосной модуляции (ОМ) и на 10..15 дБ для частотной (ЧМ).

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

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. Это явление наблюдается практически всегда, но для его использования необходима достаточно хорошая энергетика. Коммерческие тропосферные каналы с ЭИМ=60 дБ и более обеспечивают стабильную связь на расстояния порядка 300 км. При типичных для любительской УКВ DX станции ЭИМ порядка 30 дБ за счет рассеяния достаточно часто удается проводить CW связи на расстояние до 400 км. Так, по моему опыту 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 изменения с высотой температуры, давления и влажности воздуха. Его увеличению способствует повышенное давление (характерно для антициклона), 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 ЭИМ порядка 10. Иногда коэффициент рефракции достигает такой величины, что волна, "изгибаясь" 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 каждой конкретной ситуации. Вращение плоскости поляризации также незначительно. Известно, что созданию таких условий способствует перемещение атмосферных фронтов. Надо отметить, что явление это достаточно редкое и изучено далеко не полностью.

3. **Авроральное прохождение.** «Аврора» это отражение радиоволн от приполярных областей ионосферы во время магнитных бурь. Поскольку спектр сигнала существенно меняется, телеграф является более предпочтительным. Сигнал принимается в виде характерного шипения. От степени возмущения ионосферы зависит дальность прохождения в южном направлении. Если для северных областей это достаточно частое явление, то границ Украины «аврора» достигает всего 1-2 раза в год. Наиболее вероятное время суток - 14-17 и 21-24 UTC. Для центральной России обычными являются корреспонденты из скандинавских стран, более редкими и потому - желанными из Дании, Германии, Польши. Иногда признаком «авроры» является появление на КВ диапазонах северных станций с искаженным, шипящим тоном (на фоне общего ухудшения прохождения). Необходимым ЭИМ можно считать уровень 25-30 дБ. Антенну, как правило, следует ориентировать на север, с отклонениями до $\pm 30^\circ$. В отличие от предыдущих случаев, поляризация может существенно меняться, хотя бытует мнение, что использование одинаковой поляризации обоими корреспондентами предпочтительней.

4. **Спорадическое (Es) прохождение.** «Спорадики» возникают при образовании в ионосфере (слой E) под влиянием интенсивной солнечной радиации «облаков» с минимально применимой частотой (МПЧ), превышающей 144 МГц. Наиболее вероятное время года - с мая по август, время суток - со второй половины светового дня до полуночи. Более характерно для южных районов, 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, ЭИМ которых меньше 10дБ. 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 (я 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 ЧМ.

5. **Отражение от метеорных следов (Ms).** Такой вид связи является весьма специфическим 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 Земли 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 ориентации антенны так же удобно выполнять с помощью компьютерных программ. Минимальным ЭИМ для успешной работы можно считать уровень в 30 дБ (средняя Ms станция обычно имеет мощность порядка 300 Вт и 1-2 этажа антенн с длиной траверс до 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 дБ для частоты 144 МГц) 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 ЭИМ порядка 50 дБ (типичная радиостанция начинающего «лунатика» имеет мощность передатчика 1 кВт и стэк 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 дБ. При меньших величинах ЭИМ 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 МГц 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 приему 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 радилюбительских 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. Работа, как правило, ведется в 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 FT-736 фирмы YAESU, TS-790 фирмы Kenwood, IC-830 фирмы ICOM. Они имеют 2 диапазона - 144 и 432 МГц, возможность установки дополнительных модулей на 1296 и 2300 МГц, 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 FT-757, IC-746, FT-100 или IC-706. Следует, однако, заметить, что последние две модели, имеют недостаточную избирательность, и в районах с большим уровнем помех потребуются использование дополнительных внешних (из-за малогабаритности трансиверов) входных фильтров.

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. [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 доработанный привод ПР-2 (используется в вентиляционных системах). Можно изготовить привод самому, или приобрести импортный 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 различной поляризации на одной траверсе с переключателем, но возможны и компромиссы. Так, если установить «волновой канал» с усилением 14 дБ и углом излучения в вертикальной плоскости около 25° , то дополнительные потери для горизонтально поляризованной волны составят всего 0.9 дБ, а для вертикально поляризованной - 7 дБ. Таким образом, мы получаем антенну с усилением около 13 дБ для горизонтальной (основной) поляризации и 7 дБ - для вертикальной (дополнительной). Большую роль играет размещение антенны. Причем собственно высота её установки может и не играть существенной роли для многих видов дальних связей. Главное, чтобы требуемые направления не были закрыты постройками или другими близкорасположенными препятствиями. Хотя волна способна огибать их за счет явления дифракции, дополнительное затухание при этом может оказаться слишком большим.

Желательно так же обзавестись минимальным набором измерительной техники. Обязательно должен быть измеритель КСВ/мощности для контроля и настройки антенно-фидерного устройства и передатчика, а также генератор шума для измерения параметров приемника.

Хотя среди части коротковолновиков бытует мнение, что телеграф - это устаревший вид связи, не зная его, считать себя серьезным УКВ DX оператором нельзя. 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 шестизначные 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 МГц, OM - 144.300 МГц. К сожалению, в силу известных причин, активность на УКВ в России очень невелика. В то же время, сейчас во многих крупных городах работают репитеры. Наблюдая на частотах репитеров из соседних областей, можно обнаруживать появление дальнего прохождения.

Во многих регионах есть «свои» частоты, на которых собираются станции, работающие ЧМ. Например, на севере Московской области это - 145,500 МГц. 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 МГц 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 МГц.

На страничке www.dxlc.com/solar в интернете можно найти прогноз геомагнитных возмущений на несколько дней вперед, а по адресу <http://www.irf.se/mag/> можно узнать текущее состояние магнитосферы (если величина флуктуаций компонент магнитного поля превышает 200-400, то можно ожидать «аврору» в Европейской части России).

В данной статье не рассматривались особенности диапазонов 50 МГц (работа на нем российским радиолюбителям пока не разрешена), а также 432 МГц и выше. Диапазон 144-146 МГц был выбран как наиболее популярный. Экзотические виды связи, например, использующие отражение радиоволн от пролетающих самолетов, равно как и множество тонкостей, касающихся дальних УКВ связей так же остались вне рамок этого материала.

Держайте, и вы откроете для себя удивительный мир УКВ DX-инга!

Литература.

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. М., 1983.
4. Новая система QTH-локатора. Бубенников С. «Радио», 1984.
5. Прогноз тропосферного прохождения. Бубенников С. «Радио», 1981.
6. Проведение метеорной связи. Бубенников С., Бектов В. «Радио», 1981.

