

УДК 621.371.24 (575.2)

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН
С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Е.В. Куцев, М. Оконов

Рассмотрены свойства распространения УКВ с учетом прямолинейного распространения, атмосферной рефракции, за счет рассеяния радиоволн на неоднородностях тропосферы, а также с учетом рельефа местности.

Ключевые слова: УКВ; распространение; неоднородность; тропосфера; рефракция.

**DISTRIBUTION OF VHF TAKING INTO
ACCOUNT RELIEF OF THE KYRGYZ REPUBLIC**

E. V. Kutsev, M. Okonov

It is considered properties of VHF distribution taking into account linear distribution, atmospheric refraction, dispersion of radio-waves on troposphere's discontinuities, and also taking into account a land relief.

Keywords: VHF; distribution; inhomogeneity; troposphere; refraction.

Переход на цифровое телевизионное вещание обусловлен множеством причин. К основным из них относятся: дефицит радиочастотного спектра, требования к качеству и количеству предоставляемых услуг и телевизионных программ. Внедрение цифрового телевизионного вещания позволит увеличить число доступных программ, повысить качество изображения и звукового сопровождения, вести качественный прием на мобильные и переносные приемники.

Переход на цифровое телевизионное вещание привел к необходимости разработки и расчета новой цифровой сети с учетом новых требований и возможностей. Для уменьшения затрат на покупку и обслуживание оборудования, повышения надежности всей сети необходимо учитывать возможные варианты распространения ультракоротких волн (УКВ) для телевизионного вещания с учетом горной местности Кыргызской Республики.

В данной статье рассматривается возможность приема цифрового телевизионного сигнала УКВ диапазона в пределах прямой видимости и за ее пределами.

Современному телевизионному вещанию в диапазоне УКВ свойственно одно из ограничений, связанное с тем, что радиус действия пере-

дающих станций составляет всего несколько десятков километров. В лучшем случае он несколько превышает сотню километров.

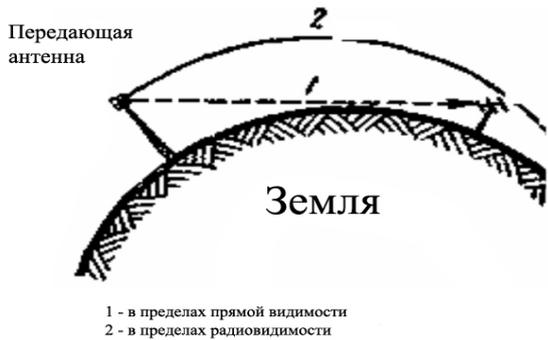
Это объясняется тем, что ультракороткие волны распространяются главным образом в пределах прямой видимости.

Если не учитывать влияние тропосферы на распространение УКВ и считать, что они распространяются прямолинейно (линия 1 на рисунке 1), то для равнинной местности величина R_0 определяется выражением:

$$R_0 = 3,57 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{h}), \quad (1)$$

где H – высота расположения передающей антенны, м; h – высота расположения приемной антенны, м; R_0 – расстояние прямой видимости, км.

В действительности же в атмосфере ультракороткие волны могут распространяться не прямолинейно, а по некоторой кривой, обращенной вогнутостью к земле (линия 2 на рисунке 1). Причиной этого является атмосферная рефракция. Поскольку относительная диэлектрическая проницаемость воздуха при нормальном состоянии тропосферы непрерывно убывает с высотой, траектория радиоволны получается искривленной, причем степень искривления существенно зависит от характера изменения электрических свойств тропосферы.



1 - в пределах прямой видимости
2 - в пределах радиовидимости

Рисунок 1 – Распространение ультракоротких волн

Поэтому дальность распространения радиоволн несколько превышает получаемое при расчете максимальное расстояние прямой видимости. Эту дальность называют максимальным расстоянием радиовидимости $R_{рв}$ и определяют по формуле:

$$R_{рв} = 4,12 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{h}), \quad (2)$$

где H – высота расположения передающей антенны, м; h – высота расположения приемной антенны, м; $R_{рв}$ – расстояние радиовидимости, км.

Под этой зоной следует понимать некоторое пространство, в пределах которого обеспечивается радиовидимость, а напряженность электромагнитного поля в месте установки приемной антенны оказывается достаточной для регулярного и качественного приема телевизионных сигналов с помощью телевизионного приемника.

В этом случае для определения напряженности в месте приема можно воспользоваться дифракционными формулами, в которых учитывается прямолинейное распространение радиоволн с учетом атмосферной рефракции.

Регулярный прием телевизионных передач с помощью обычных телевизионных приемников возможен лишь на расстояниях, не превышающих границы зоны гарантированного приема. Это утверждение основывается на том, что напряженность поля ультракоротких волн за пределами зоны радиовидимости имеет очень малую величину вследствие слабой способности УКВ огибать выпуклость Земли.

Максимальное расстояние радиовидимости, как правило, является границей зоны гарантированного приема и представляет собой радиус действия телевизионного центра. Эта граница характеризуется минимальным значением напряженности поля в месте приема (на высоте приемной антенны), при котором отношение сигнала на входе телевизионного приемника к внутренним шумам, пересчитанным



Рисунок 2 – Распространение ультракоротких волн за счет рассеяния в тропосфере

к его входу, равно величине, обеспечивающей требуемое соотношение сигнал/шум.

Радиус действия каждого телецентра зависит от высоты установки передающей и приемной антенн, мощности передатчика, рельефа местности и других факторов. С целью увеличения радиуса действия телевизионных центров, передающие антенны устанавливаются обычно на опорах высотой в несколько сот метров.

Однако измерения показали, что за пределами зоны радиовидимости регулярно существует поле УКВ, причем его напряженность иногда может достигать значительной величины. Это поле создается за счет рассеяния радиоволн на неоднородностях тропосферы и уровень поля подвержен хаотическим изменениям и называется дальним тропосферным распространением.

Тропосферные неоднородности представляют собой небольшие области пространства, в пределах которых давление, влажность и температура воздуха отличаются от средних для окружающей среды значений. Такие неоднородности возникают в зоне вихрей, образующихся при перемещении воздушных масс. Движение воздуха в тропосфере никогда не прекращается и всегда сопровождается образованием вихрей, поэтому неоднородности имеют место при любых метеорологических условиях.

Наиболее интенсивное образование неоднородностей происходит в толще воздуха на высоте 1–2 км над поверхностью земли. Размеры тропосферных неоднородностей различны. В большинстве случаев линейные размеры вихрей (турбулентностей) достигают нескольких десятков метров. Каждая неоднородность отличается от окружающей среды непрерывно изменяющейся диэлектрической проницаемостью и различной рассеивающей способностью. Неоднородности следует рассматривать как переизлучатели первичной радиоволны. Суммарное действие многих

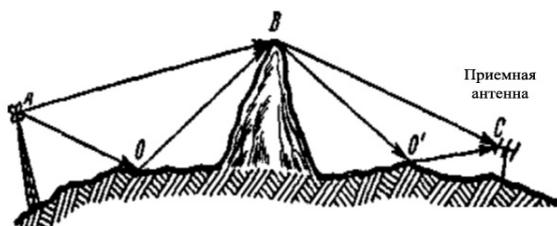


Рисунок 3 – Эффект усиления за счет препятствия

таких переизлучателей, расположенных в некотором объеме, способствует появлению рассеянных радиоволн.

Главное направление рассеяния совпадает с направлением распространения первичной волны. Рассеяние в боковых направлениях получается относительно небольшим. Так как рассеяние радиоволн происходит на большой высоте и во все стороны, часть рассеянной энергии проникает далеко за пределы зоны радиовидимости (рисунок 2), что дает возможность регулярно принимать там сигнал, хотя и весьма слабый.

Экспериментальными исследованиями установлено, что дальность распространения УКВ за счет рассеяния на неоднородностях тропосферы достигает 200–300 км. Поэтому прием сигналов на таких удалениях от телецентра принято называть дальним телевизионным приемом.

Дальнему телевизионному приему за счет тропосферного рассеяния радиоволн присущи некоторые особенности, из которых, прежде всего, следует отметить наличие “замираний”. Это связано с тем, что при приеме радиоволн, рассеянных большими объемами тропосферы, на вход телевизионного приемника поступает много электромагнитных колебаний с различными фазами и амплитудами. В зависимости от соотношения фаз эти колебания могут складываться и давать усиленный сигнал или вычитаться, образуя слабый сигнал. Так как фазы отдельных колебаний непрерывно изменяются, изменяется и уровень принимаемого сигнала.

Другой особенностью тропосферного рассеяния УКВ является сезонность изменения потерь энергии при распространении, вследствие чего при прочих равных условиях (мощность передатчика, чувствительность телевизионного приемника, тип антенны и др.) уровень принимаемого сигнала зимой оказывается ниже, чем летом. Это изменение уровней объясняется различным физическим состоянием тропосферы.

В тропосфере происходит ослабление радиоволн из-за поглощения их как газами атмосферы, так и атмосферными образованиями – туманами,

облаками, дождями и т. д. Наибольшее затухание радиоволны испытывают в дождях и туманах. Затухание зависит от длины волны излучаемого сигнала и интенсивности осадков. Укорочение длины волны и увеличение интенсивности дождя приводит к увеличению затухания.

Для описания различных характеристик принимаемого сигнала по полученным данным требуется статистический подход. Важнейшими характеристиками принимаемого сигнала является его среднее значение, знание которого необходимо для определения параметров приемо-передающей аппаратуры, а также зависимость поля у приемной антенны от длины волны. Знание закономерности среднего значения сигнала позволяет определять оптимальные длины волн для надежной работы систем, позволяет судить о механизме дальнего тропосферного распространения и о структуре тропосферных неоднородностей.

Обычно при дальнем тропосферном распространении средние уровни сигналов выражают в децибелах по отношению к уровням сигналов, которые были бы приняты в свободном пространстве на том же расстоянии. Это отношение принято называть функцией ослабления поля. Оно не зависит от характеристик приемо-передающей аппаратуры и определяется только условиями распространения электромагнитной энергии в реальной среде.

В области расстояний 60–200 км функция ослабления поля прямо пропорциональна $10 \lg \lambda$ [1–4].

Следует отметить и другой механизм дальнего приема телевизионных передач – на длинных закрытых трассах при полной экранировке приемной антенны иногда может наблюдаться так называемый эффект усиления за счет препятствия. Это явление заключается в том, что препятствие на трассе увеличивает напряженность поля по сравнению с тем, которое было бы при отсутствии препятствия. При отсутствии горы на трассе (рисунок 3) волна распространялась бы к приемной антенне, испытывая по мере удаления от передающей антенны сильное ослабление. При наличии этой горы волна распространяется до ее вершины двумя путями – прямым (AB), и за счет отражения от поверхности земли (AOB).

При благоприятных фазовых соотношениях прямой и отраженной волн на вершине горы они могут складываться, увеличивая напряженность результирующего поля. Вершина горы является, таким образом, переизлучателем электромагнитной энергии. В дальнейшем, от вершины до приемной антенны волны опять могут распространяться по двум путям, и в точке приема вновь возможно сложение прямой и отраженной волн.

Обобщая изложенное выше, можно резюмировать, что ультракороткие волны распространяются главным образом в пределах прямой видимости, а также в результате атмосферной рефракции в пределах радиовидимости, к которым для расчета напряженности поля могут быть применены дифракционные формулы. УКВ могут распространяться также на расстояния 200–300 км за счет рассеяния на неоднородностях тропосферы. Но при этом возникают “замирания” сигнала в результате многолучевого распространения.

Еще одним механизмом дальнего распространения УКВ является усиление волны препятствием при полной экранировке приемной антенны, что может быть использовано и на территории Кыргызстана.

Литература

1. *Введенский Б.А.* Дальнее тропосферное распространение ультракоротких радиоволн / Б.А. Введенский, М.А. Колосов, А.И. Калинин и др. М.: Советское радио, 1965. 417 с.
2. *Бушуй Л.А.* Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: методические указания по изучению теоретического курса раздела “распространение радиоволн” / Л.А. Бушуй. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. 41 с.
3. *Долуханов М.П.* Распространение радиоволн / М.П. Долуханов. М.: Связь, 1972. 336 с.
4. *Родос Л.Я.* Электродинамика и распространение радиоволн (распространение радиоволн) / Л.Я. Родос. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. 90 с.