

УДК 621.317

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЛЕСА ПРИ РАСЧЕТАХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СВЯЗИ НА НАЗЕМНЫХ РАДИОЛИНИЯХ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

Д. В. ЗАНЕВСКИЙ,*к. т. н., доцент кафедры радиотехники и электроники УО «Военная академия Республики Беларусь»***Ю. С. КОРОБКО,***к. т. н., доцент кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» БНТУ*

В статье приводится методика учета влияния лесных массивов при расчетах показателей качества связи на наземных радиолиниях прямой видимости.

Ключевые слова: радиолиния прямой видимости, потери радиоволн в лесу, дифракционные потери.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании радиолиний прямой видимости вне городов на территории Республики Беларусь основным препятствием для распространения радиоволн является лесной массив. Основной задачей расчета радиолинии прямой видимости является определение оптимальных высот антенн терминалов, обеспечивающих заданные характеристики качества радиосвязи. В этом случае обычно рельеф лес принимается абсолютно непрозрачным и профиль земли «поднимают» до уровня высоты леса.

Однако на практике организация строительства новых антенных мачт является достаточно дорогостоящей процедурой. Необходимо разработать проект, согласовать его, пройти необходимые экспертизы, а затем еще эту антенную мачту построить. Поэтому организации, разворачивающие радиолинию прямой видимости, стремятся установить антенны на крышах домов, высотных сооружений, уже существующих вышках.

В этом случае задача расчета радиолинии прямой видимости существенно изменяется. Необходимо при известных высотах антенн определить характеристики качества радиосвязи, при этом линия прямой видимости в условиях экстремальной рефракции может пересекать небольшой участок лесного массива.

Актуальность данной статьи состоит в том, что в ней приводится методика расчета затухания радиоволны при преодолении небольших участков лесного массива, учитывающая прямую и дифракционную радиоволну на вершинах деревьев, и в результате

расчетов может оказаться достаточным только повышение энергетического потенциала радиолинии. А на практике при таких условиях отказываются от использования данной радиолинии и строят собственную антенную мачту.

Кроме того, при проектировании радиолинии часто ставится вопрос, как изменятся качественные показатели радиосвязи с течением времени, когда лес еще подрастет.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для энергетического расчета в зависимости от частотного диапазона радиолинии принято использовать рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ) ITU P.530-18 [1], ITU P.2001-4 [2], ITU P.452-17 [3] и ITU P.1812-6 [4]. Однако в этих рекомендациях для расчетов используются абсолютные высоты рельефа местности без учета застройки и растительности. В некоторых рекомендациях учитываются дома, растительность, находящиеся вблизи терминалов и «экранирующие» антенны данных терминалов. Только в рекомендации ITU P.1812-6 содержится указание «поднимать» рельеф местности на величину типовой высоты леса, застройки. Типовая высота всегда ниже реальной, так как учитывает распространение радиоволны не только над препятствием в вертикальной плоскости, но и между ними в горизонтальной плоскости. Калибровочные коэффициенты для конкретной местности определяются путем набора статистики по результатам практических измерений.

Изменение во времени уровня сигнала в точке приема на радиолинии прямой видимости вызвано воздействием многих факторов. Это многолуче-

вость распространения радиоволн, изменение фаз и амплитуд волн в точке приема, изменение условий рассеяния и затухания составляющих радиоволн. Однако наиболее существенным влияющим фактором является изменение степени рефракции радиоволн в тропосфере. Наиболее опасным является отрицательная рефракция, когда траектория радиолуча изгибается в противоположную сторону от Земли. Такая рефракция описывается малым значением эквивалентного радиуса Земли. Так, для медианного значения уровня рефракции (50 %) коэффициент эквивалентного радиуса Земли k_e составляет 1,31 реального радиуса (кривая рефракции направлена к Земле). Для отрицательной рефракции $k_e < 1$. При этом эквивалентный радиус уменьшается и «выпуклость» радиотрассы увеличивается.

Статистика появления такого вида рефракции описывается процентом времени для среднего года или худшего месяца, в течение которого k_e превышает заданное значение. Так как требования по коэффициенту готовности радиолинии – 99,95 % и выше, то и уровень рефракции необходимо рассматривать для таких же больших процентов.

В рекомендации ITU P.530-18 [1] приводится выражение для k_e , превышаемого в течении 99,9 % худше-

го месяца в году (экстремальное значение рефракции) в зависимости от дальности d :

$$k_e = 157 / (144 + 2670 / d). \quad (1)$$

На это значение и следует ориентироваться при выборе оптимальных высот антенн. Для данного значения рефракции просвет на радиолинии должен быть равным нулю.

Для примера на рис.1 представлен профиль рельефа местности для медианного значения рефракции. На профиле также приведены линия 1-й зоны Френеля, линия усредненной поверхности Земли и положение точки отражения.

Данный профиль соответствует трассе прямой видимости с дифракцией на субтрассе, так как часть зоны Френеля затеняется лесом. Дифракционные потери в этом случае невелики и составляют 7,3 дБ на частоте 5,5 ГГц.

В соответствии с (1) для данной дальности уровень экстремальной рефракции соответствует $k_e = 0,68$, и для такого эквивалентного радиуса Земли трасса становится закрытой. Дифракционные потери резко возрастают до 26,2 дБ. Профиль рельефа для экстремальной рефракции приведен на рис. 2.

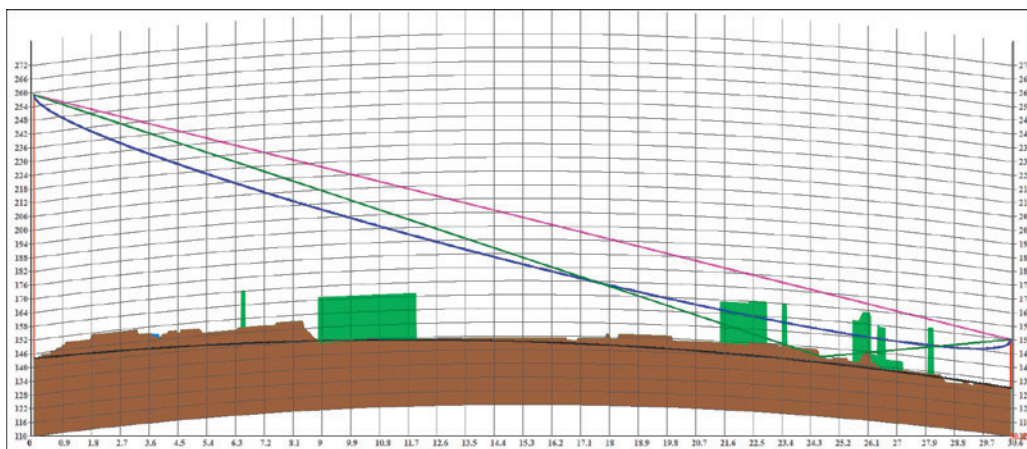


Рисунок 1. Профиль рельефа местности для медианного значения рефракции

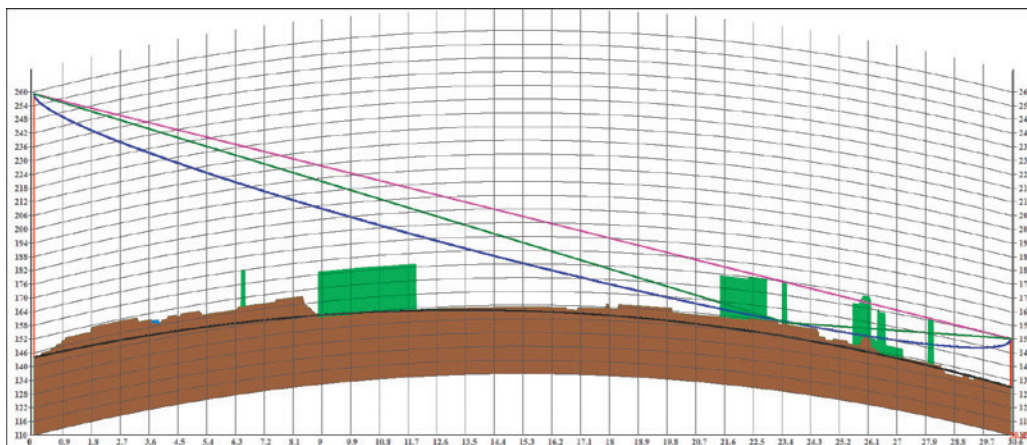


Рисунок 2. Профиль рельефа местности для экстремальной рефракции

Несмотря на то, что такое явление происходит достаточно редко, в данном случае на линии связи будут наблюдаться сбои и их количество может превысить заданные нормы по количеству сбоев. Самым логичным действием в этой ситуации является увеличение высоты антенны, то есть вместо того, чтобы установить антенну на существующей мачте (крыше здания), нужно проектировать и строить новую антенную мачту.

Другой вариант – рассмотреть потери распространения радиоволн при их прохождении напрямую через лес. Может оказаться, что при преодолении леса потери будут ниже потерь на дифракцию и могут быть скомпенсированы энергетическим запасом радиолинии. Кроме этого, последующий рост леса вызовет увеличение дифракционных потерь, а потери на преодоление леса практически не изменятся.

Затухание радиоволн в лесу рассматривается отдельно в рекомендации ITU R.833-10 [5], причем только начиная с 10-й версии приведена статистика затухания радиоволн при прохождении через лес на наклонной трассе, когда терминалы расположены далеко за пределами данного участка.

При прохождении радиоволн через участок леса длиной d (м) под углом θ (град.) затухание радиоволны определяется согласно (2):

$$L_f = A f^B \log_{10}(d) (\theta + E)^G - 4, \tag{2}$$

где A (1,87), E (0,01), G (-0,12) – параметры, определенные эмпирическим путем; f – частота, МГц; $B = (0,30281 - 0,003624 kh)(f/1000)^{(0,0013118 - 0,026236 kh)}$; kh – [месяц - 6,5].

Зависимости затухания при прохождении участка леса под углом $0,5^\circ$ от длины этого участка приведены на рис. 3. Зависимости рассчитаны для июня, июля месяцев, когда затухание в лесу максимально. Из графиков видно, что, начиная с частоты 5 ГГц, затухание в лесу резко возрастает и, следовательно, лес является абсолютно непрозрачной средой для данных радиочастот.

Эффективность от расчета затухания радиоволны при прохождении леса наблюдается в диапазоне частот ниже 3 ГГц, в котором затухание при прямом прохождении леса может оказаться ниже дифракционных потерь.

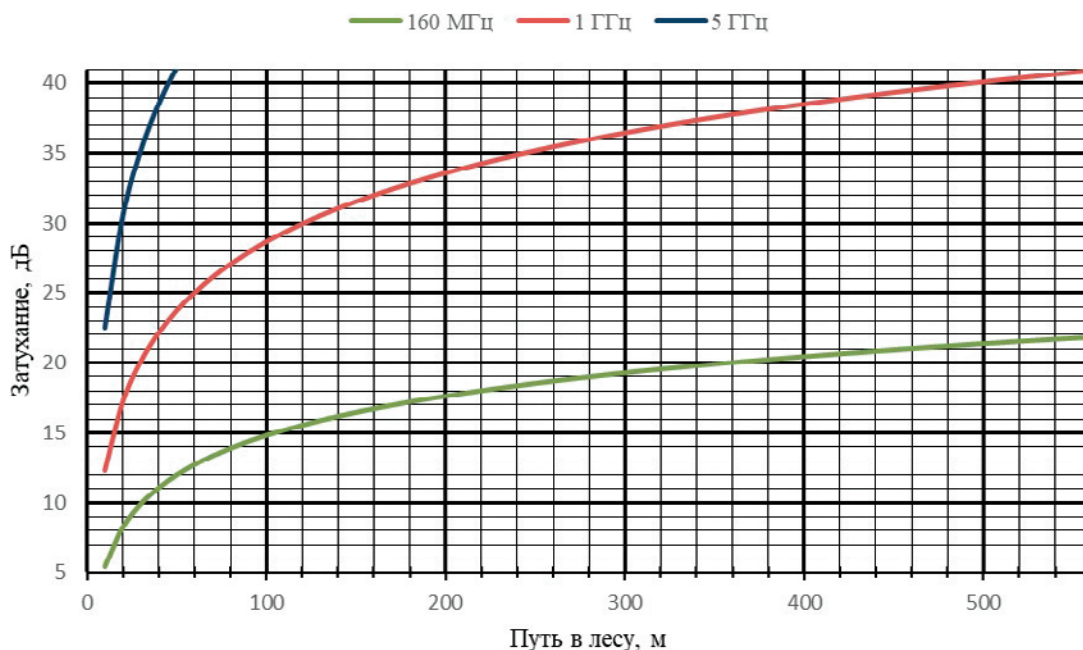


Рисунок 3. Зависимость затухания при прохождении через участок леса от дальности



Рисунок 4. Параметры лесного массива для расчета дифракционных потерь

Дифракционные потери рассчитываются в соответствии с рек. ITU P.526-15 [6]. В соответствии с данной рекомендацией лес можно представить в виде двух клиновидных препятствий, расположенных в начале и конце участка леса. Расстояние между ними равно длине участка леса. На рис. 4 приведены геометрические параметры радиолинии, расположенной выше линии, соединяющей фазовые центры антенн. За счет уклона данной линии лес в начале и конце участка может иметь различные высоты. Все геометрические параметры для расчетов дифракционных потерь рассчитываются при построении геометрии профиля.

В соответствии с рек. ITU P.526-15 [6] дифракционные параметры $v_{1,2}$ клиновидных препятствий определяются следующим образом:

$$v_1 = h_1 \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d+d_2} \right)}, v_2 = h_2 \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1+d} + \frac{1}{d_2} \right)}. \quad (3)$$

Дифракционные потери на клиновидных препятствиях рассчитываются:

$$L_{\alpha 1,2} = 6,9 + 20 \log_{10} \left(\sqrt{(v_{1,2} - 0.1)^2 + 1} + v_{1,2} - 0.1 \right). \quad (4)$$

Дополнительные потери при распространении над лесом рассчитываются:

$$L_c = 10 \log_{10} \left(\frac{(d_1 + d)(d + d_2)}{d(d_1 + d + d_2)} \right). \quad (5)$$

Суммарные дифракционные потери над участком леса рассчитываются

$$L_d = L_{d1} + L_{d2} + L_c \quad (6)$$

Дифракционные потери на участке леса определяются степенью рефракции радиоволн или коэффициентом эквивалентного радиуса Земли. Зависимость k_e от заданного значения коэффициента готовности p (процента времени) определена в рек. ITU P.2001-4 [2] и зависит от изменения градиента индекса преломления тропосферы в приземном слое $N_{d1km}(p)$:

$$N_{d1km}(p) = N_{d1km}(50\%) - S_{\Delta N_{sub}} \log_{10}(0,02(100 - p)), \quad (7)$$

$p > 50\%$,

$$k_e(p) = 157 / (157 + N_{d1km}(p)). \quad (8)$$

Значения $N_{d1km}(50\%)$ и $S_{\Delta N_{sub}}$ являются справочными данными и содержатся в цифровых картах МСЭ. Выбор значений осуществляется по географическим координатам центра радиотрассы.

С уменьшением коэффициента эквивалентного радиуса Земли k_e высоты $h_{1,2}$ будут увеличиваться, дифракционные потери – возрастать, а затухание радиоволны при прохождении через данный массив будет постоянным и независимым от k_e . Следовательно

но, при некоторых условиях дифракционные потери L_d могут превысить потери в лесу L_f , и путь напрямую через лес станет менее энергозатратным.

Следовательно, кроме дифракционных потерь, необходимо рассчитывать потери в лесу. В некоторых случаях, особенно на частотах менее 3 ГГц и на непротяженном участке высокого леса, это может дать большее значение запаса на замирания и улучшит статистические показатели радиолинии по коэффициенту готовности и количеству отказов.

Данные потери неразрывно связаны, так как в точку приема приходят обе волны, как дифракционная, так и прямая через лес, поэтому при расчетах данные потери необходимо объединять. В процессе распространения данные радиоволны проходят различные пути и в точку приема приходят со случайной фазой. Поэтому в точке приема необходимо суммировать их по мощности.

Таким образом, мощность суммарного сигнала на входе приемника P_{Σ} определяется суммой мощностей радиоволн, при распространении за счет дифракции P_d и через лес P_f :

$$P_{\Sigma} = P_d + P_f. \quad (9)$$

Каждую составляющую мощности можно определить отношением энергетического потенциала радиолинии к квадрату соответствующих потерь $L_{\Sigma,df}$ выраженных в безразмерных величинах (разах). В соответствии с этим можно определить связь между суммарными потерями и их составляющими:

$$\frac{1}{L_{\Sigma}^2} = \frac{1}{L_f^2} + \frac{1}{L_d^2} \quad (10)$$

Связь между потерями в дБ и размах приведена в (11):

$$L = 20 \log_{10}(l), \quad L = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{l^2} \right), \quad l = 10^{0,05L}, \quad \frac{1}{l^2} = 10^{-0,1L}. \quad (11)$$

Подставим (11) в (10):

$$\frac{1}{L_{\Sigma}^2} = 10^{-0,1L_f} + 10^{-0,1L_d}. \quad (12)$$

Возьмем десятичный логарифм левой и правой части и умножим все на -10 . С учетом (11) получим выражение для суммарного затухания, учитывающего затухание в лесу и дифракционные потери при распространении над лесом

$$L_{\Sigma} = -10 \log_{10} \left(10^{-0,1L_f} + 10^{-0,1L_d} \right). \quad (13)$$

Данная составляющая потеря для заданного значения коэффициента готовности совместно с другими видами потерь используется для определения энергетического запаса на замирания радиолинии.

А энергетический запас на замирания далее используется в статистических расчетах радиолинии для получения количества сбоев за средний год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, учет затухания радиоволн при прохождении леса в случае высокого (25–30 м) и не протяженного (до 300–400 м) лесного массива в диапазоне частот менее 3 ГГц может улучшить энергетику радиолинии и обеспечить требуемые характеристики радиосвязи без строительства новой мачты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости : Рекомендация МСЭ-Р Р.530-18, Женева, 2021.
2. Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц : Рекомендация МСЭ-Р Р.2001-4, Женева, 2021.
3. Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц : Рекомендация МСЭ-Р Р.452-17, Женева, 2021.
4. Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ : Рекомендация МСЭ-Р Р.1812-6, Женева, 2021.
5. Ослабление сигналов растительностью : Рекомендация МСЭ-Р Р.833-10, Женева, 2021.
6. Распространение радиоволн за счет дифракции : Рекомендация МСЭ-Р Р.526-15, Женева, 2019.

The article presents a methodology for taking into account the influence of forests in the calculation of indicators quality communication on terrestrial line-of-sight radio links.

Получено 19.10.2023.