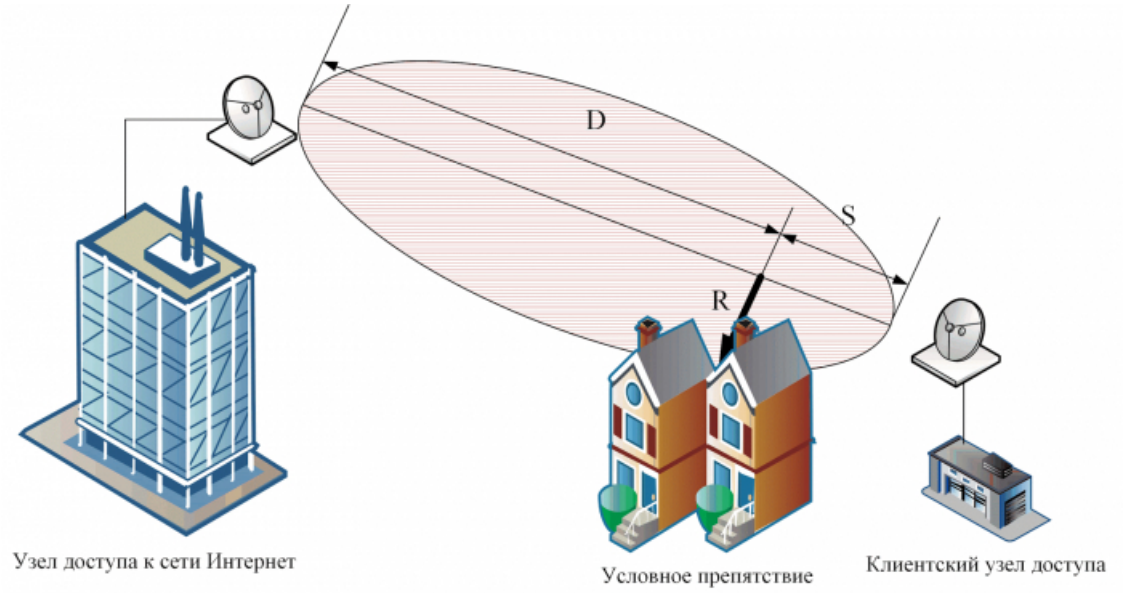
Зоны Френеля

Зона Френеля - это цилиндрический эллипс, проведенный между передатчиком и приемником. Размер эллипса определяется частотой работы и расстоянием между двумя участками. Когда радиосигнал проходит между передатчиком и приемником, он может распространяться несколькими путями. Он может идти напрямую между передатчиком и приемником (основной сигнал). Сигнал может отражаться от земли и затем переноситься на удаленный приемник (отраженный сигнал). Он может идти влево или вправо и отражаться от "холма" (еще один отраженный сигнал).

Другими словами, радиоволна в процессе распространения движется не только по прямой траектории и не в виде "луча" (хотя лучевые модели распространения радиоволн и применяются в расчете различных задач технической электродинамики). Когда волна перемещается на значительные расстояния, измеряемые сотнями длин волн, она, в результате распространения, занимает некий объем в форме эллипса:



По сути, внутри этого эллипса располагается вся полезная энергия и передаваемая информация. Для того, чтобы сигнал мог быть эффективно передан, должны соблюдаться два условия:

- обеспечена прямая видимость между передатчиком и приемником;
- не менее 60% занимаемого эллипса должно быть свободно от препятствий.

Понятно, что при отсутствии прямой видимости качественная связь на больших расстояниях затруднительна. Но с требованиями к отсутствию препятствий в зоне Френеля все не так однозначно. Наличие препятствий внутри эллипсоида распространения радиоволн может приводить к наводкам, помехам или просто вносить дополнительное затухание (как, например, в случае с лесным массивом).

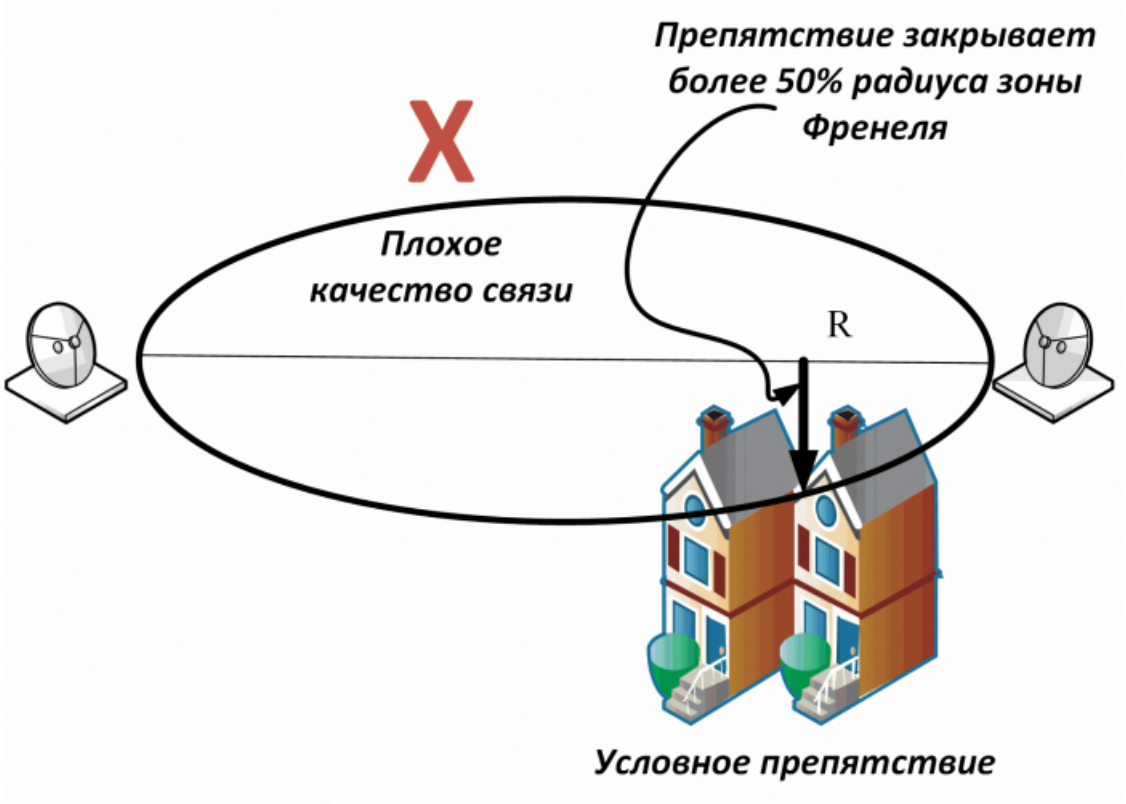
Если устанавливать радиомост только из условия наличия прямой видимости, то, вероятнее всего, на детекторе качества сигнала вы увидите значение 95-98%. Но при этом скорость передачи данных может оказаться минимальной (из-за потерь и повтора пакетов) по причине наличия препятствий внутри зоны Френеля.

Для расчета радиуса зоны Френеля можно воспользоваться упрощенной, но подтвержденной на практике формулой:

$$R = 17{,}3 \cdot \sqrt{\frac{1}{f} \cdot \frac{SD}{S+D}},$$

где R – радиус зоны Френеля (м);
S,D – расстояние от антенн до самой высокой точки предполагаемого препятствия (км);
f – частота (ГГц).

Когда радиус зоны Френеля над предполагаемым препятствием рассчитан, нужно понять не занимает ли препятствие больше 40% рассчитанного радиуса:



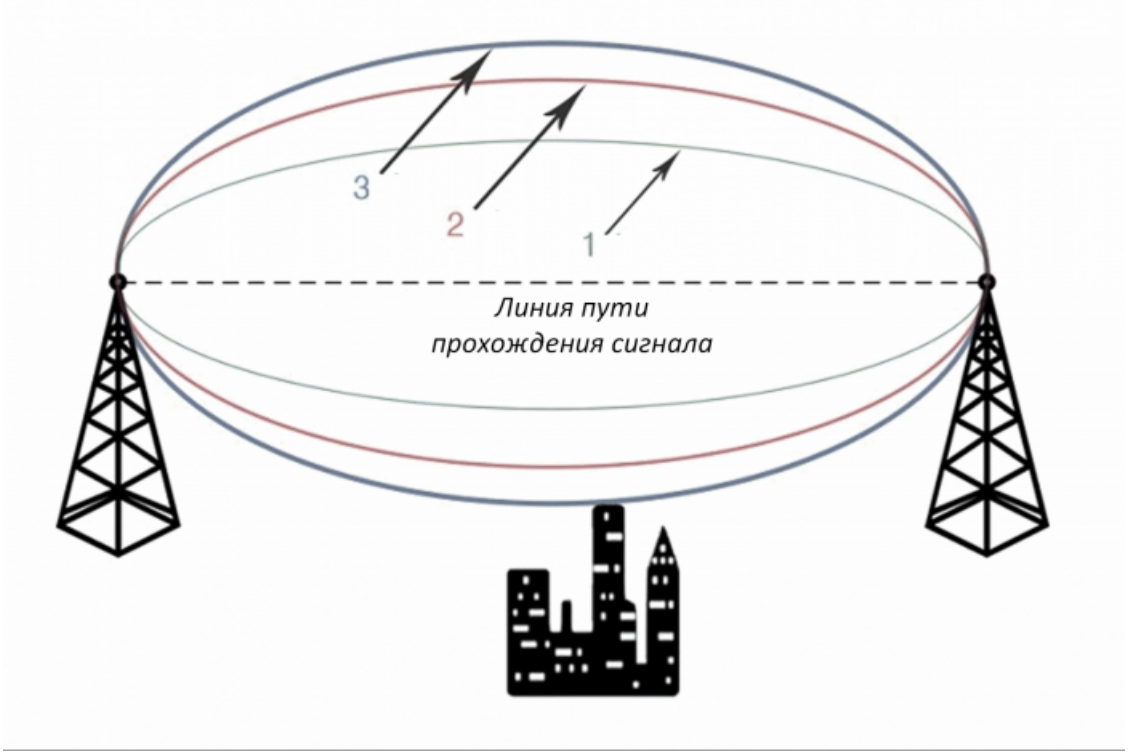
Что же делать в том случае, если препятствие закрывает большую часть радиуса этого эллипса и свободным от препятствий остается менее 60% зоны Френеля? В этом случае задача организации стабильного радиосигнала решается только путем поднятия антенн на соответствующую высоту, чтобы в месте наличия препятствия зона Френеля была достаточно свободна. После подъема антенн на необходимую высоту на обеих сторонах, линк будет работать на максимальной скорости и с максимальной для данного расстояния отдачей.

Еще следует отметить, что мы живем в трехмерном пространстве (amazing!). Поэтому следует учитывать и препятствия, которые находятся сбоку. Например, в случае построения линка, луч которого проходит между двух зданий, должно соблюдаться то же самое условие:

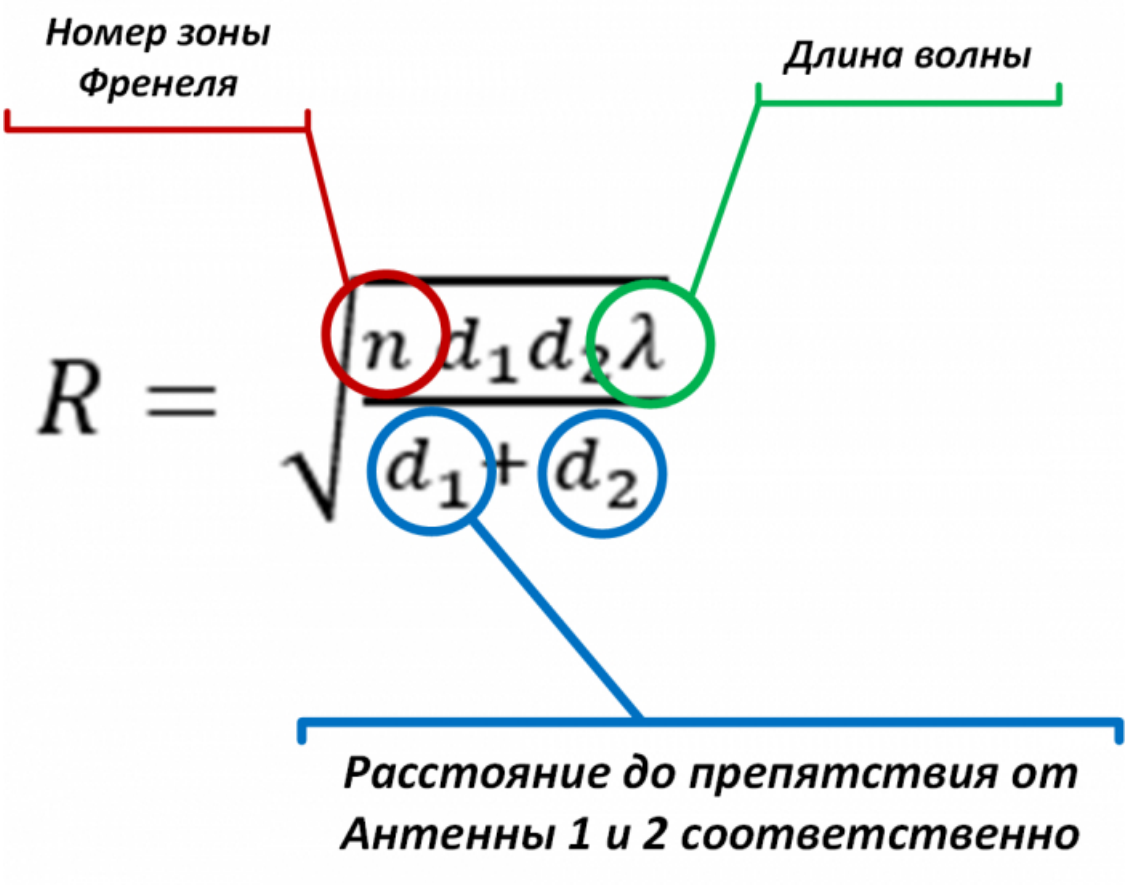


Таким образом, зона Френеля и, как следствие, размер эллипса определяется частотой работы и расстоянием между двумя конечными точками радиомоста (передатчиком и приемником). При этом отметим, что зона Френеля состоит из нескольких зон, причем зона 1 имеет самый сильный сигнал, а

следующие зоны (зона 2 и зона 3) имеют более слабые сигналы:



Исходя из рисунка выше, зона Френеля рассчитывается с использованием следующего уравнения:



Заключение:

Зона Френеля - это область вокруг линии прямой видимости, вдоль которой распространяются радиоволны после того, как покидают антенну. Для организации стабильного радиоканала вам потребуется четкая линия видимости для обеспечения хорошего уровня сигнала. Это необходимое условие, но не достаточное. Важно знать в каком состоянии находится зона Френеля. Как правило, блокировка 20% зоны Френеля приведет к наличию небольших потерь сигнала в канале. В том случае, если препятствие закрывает 40% зоны Френеля, то потеря сигнала станет значительной.

Вот еще упрощенная формула для определения радиуса самой широкой точки зоны Френеля (в метрах):

$$R = 17{,}3 \cdot \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

где d - расстояние (в километрах) между двумя антеннами, а f - частота (в ГГц), на которой вы осуществляете передачу.

При расчета высоты установки антенн рекомендуем пользоваться следующим онлайн-расчетчиком: Ubiquiti Outdoor Wireless Link Calculator.