

Влияние атмосферы на распространение радиоволн

Обычно атмосферу делят на три её основных слоя:

1. **Тропосфера** (от греч. tropos — поворот, изменение и сфера), нижняя, преобладающая по массе часть земной атмосферы, в которой температура понижается с высотой. Тропосфера простирается в среднем до высот в интервале от 8 до 18 км в разных широтах. В тропосфере сосредоточено более всей массы атмосферного воздуха. Вся деятельность человека проходит в тропосфере. Самые высокие горы остаются в пределах тропосферы.
2. Над тропосферой располагается **стратосфера** (от лат. stratum - настил, слой) — слой атмосферы, располагающийся на высоте от 11 до 50 км. Характерно незначительное изменение температуры в слое 11—25 км (нижний слой стратосферы) и повышение ее в слое 25 - 40 км от $-56,5^{\circ}\text{C}$ до $+0,8^{\circ}\text{C}$ (верхний слой стратосферы или область инверсии). Стоит заметить, что в стратосфере расположен озоновый слой, защищающий нас от УФ лучей. Воздушный транспорт лишь частично выходит в стратосферу.
3. Самый верхний слой атмосферы это **ионосфера**, в общем значении — слой атмосферы планеты, сильно ионизированный вследствие облучения космическими лучами.

Теперь стоит отметить, что по на распространение радиоволн стратосфера оказывает то же влияние, что и тропосфера, но оно проявляется в меньшей степени из-за малой плотности воздуха. Поэтому остановимся на рассмотрении двух основных слоёв.

Начнём с тропосферы:

Газовый состав тропосферы постоянен и идентичен составу у поверхности: 78% азота, 21% кислорода, 0,33% аргона, 0,03% CO_2 и т. д. Содержание водяного пара - от 0 до 4% по объёму.

Типов радиоволн, передающиеся через тропосферу, существует целое многообразие. Например, с помощью них передаются сигналы от различных видов связи (телевидение, телеграф, телефон) и сигналы, позволяющие управлять различными системами на расстоянии (радиотелемеханика).

В электрическом отношении тропосфера представляет собой весьма неоднородную среду, поэтому влияние тропосферы на распространение радиоволн проявляется так:

1. *искривляются траектории распространения радиоволн (рефракция)*

Явление рефракции обусловлено изменением диэлектрической проницаемости и, соответственно, показателя преломления с высотой.

Абсолютные изменения этих величин крайне незначительны. Несмотря на это, его достаточно для того, чтобы траектория пологого луча заметно отклонилась от прямой.

Кроме этого, в реальных условиях возможны также такие состояния атмосферы, когда показатель преломления возрастает с высотой.

Явление рефракции радиоволн в атмосфере рассматривают с позиций геометрической оптики, т.е. в основу кладут закон преломления оптических лучей.

Для определенности, рассматривается прохождение луча сквозь тропосферу, где показатель преломления убывает с высотой. (**Рис. 1**) В целях упрощения задачи тропосфера считается слоисто-неоднородной, составленной из отдельных участков каждый из которых характеризуется средним показателем преломления n_i .

При прохождении луча из нижнего слоя в расположенный над ним следующий слой происходит отклонение луча от перпендикуляра к слою, поскольку это прохождение совершается из среды, оптически более плотной, в среду, оптически менее плотную.

Таким образом, проходящий из слоя в слой луч испытывает постепенный излом (отрезки красного цвета). Вследствие плавного изменения показателя преломления с увеличением высоты этот излом является плавным искривлением луча, т.е. траектория волны есть плавная линия.

При аномальных условиях в атмосфере (резкое увеличение давления, влажности, температуры) возможна и сверхрефракция, при которой радиоволна возвращается к Земле, отражается, и так многократно. Принято говорить, что в этом случае образуется тропосферный волновод (искусственный или естественный направляющий канал, в котором может распространяться волна). При этом в тропосфере возможно волноводное распространение радиоволн на очень большие расстояния.

Сверхрефракцией также обусловлено такое явление, как оптический мираж.

При критической рефракции дальность работы современных радиосредств значительно выше, чем при нормальной, а возникает она в том случае, если влажность убывает с высотой также, как и при нормальной, температура меняется медленнее.

2. происходит рассеяние радиоволн; поглощение энергии, переносимой ими, газами атмосферы и ослабление радиоволн из-за осадков (дождь, туман, град, снег, гроза)

Процесс рассеяния радиоволн можно представить себе следующим образом. Тропосфера неоднородна по своему строению, она представляет собой совокупность неустойчивых воздушных объемов — неоднородностей, в которых коэффициент преломления воздуха отличается на некоторую небольшую величину от среднего значения. Эти неоднородности непрерывно флуктуируют, т. е. их плотность, форма и размеры непрерывно меняются. Радиоволна, падающая на эти неоднородности, наводит в каждой из них токи, которые, в свою очередь, излучают примерно как антенны. Таким образом, неоднородности играют роль своеобразных ретрансляторов.

Основную роль в рассеянии радиоволн играют неоднородности, размеры, которых во много раз превышают длину волны.

При рассеянии радиоволн на каплях воды размеры неоднородностей много меньше длины волны и рассеиваемые волны распространяются равномерно во все стороны. При условиях, имеющих место в тропосфере, рассеяние происходит в пределах угла, составляющего несколько градусов с направлением падающей волны. Поэтому основная часть энергии волны проходит сквозь рассеивающую область и не может быть использована для приема. Только небольшая часть энергии возвращается на Землю, где она может быть принята. (Рис. 2)

Молекулярное поглощение в атмосфере происходит в основном на частотах близких к резонансным. Резонансные линии всех газов атмосферы, за исключением кислорода и водяного пара, расположены вне диапазона радиоволн, поэтому существенно влияет на дальность действия радиотехнических систем только поглощение молекулами кислорода и водяного пара.

Другой причиной, вызывающей потери энергии сигнала при распространении, является рассеяние радиоволн, прежде всего дождевыми каплями и туманом. **Чем больше отношение "радиус капли / длина волны" тем больше потери энергии за счёт её рассеяния во всех направлениях.**

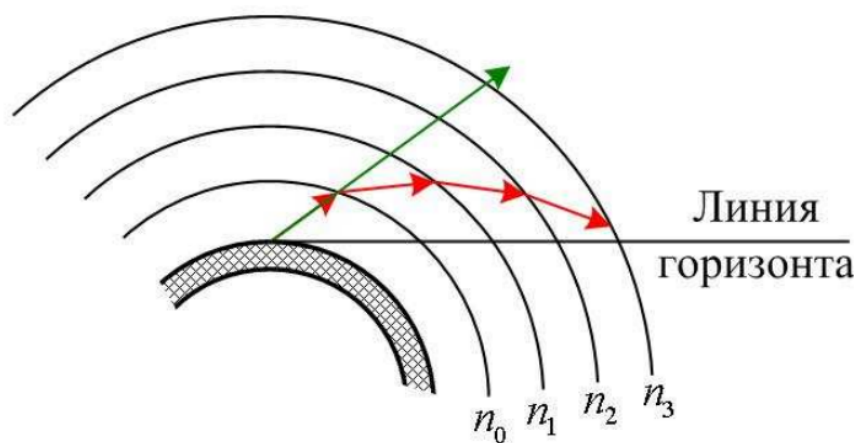
Переходим к ионосфере:

Под действием радиоволны в ионосфере могут возникать как вынужденные колебания электронов и ионов. Существенное влияние на распространение радиоволн оказывает магнитное поле Земли, пронизывающее ионосферу. Попадающая в ионосферу волна испытывает двойное лучепреломление, т.е. расщепляется на 2 волны, отличающиеся скоростью и направлением распространения, поглощением и многими другими факторами. В ионосфере так же присутствуют неоднородности, от которых радиоволны отражаются. Так некоторые неоднородные образования возникают в ионосфере при вторжении в неё метеоритов. Испускаемые раскалённым метеоритом электроны ионизируют окружающую среду, образуя за летящим метеоритом след, диаметр которого вследствие молекулярной диффузии быстро возрастает. Так же радиоволны зеркально отражаются от метеорного следа.

Радиоволны звуковых частот могут просачиваться через ионосферу вдоль силовых линий магнитного поля Земли. Распространяясь вдоль магнитной силовой линии, волна уходит на расстояние, равное нескольким земным радиусам, и затем возвращается в сопряжённую точку, расположенную в др. полушарии (Рис. 3).

Так же существует фактор интерференции

Интерференция (Рис. 4) проявляется вследствие многолучевого распространения. По своей природе, радиоволны могут распространяться в нескольких направлениях. В процессе многократного отражения от земной поверхности, различных препятствий, сигнал достигает места назначения разными путями. В месте приема, в зависимости от фазы пришедших лучей сигнал может как увеличиться (разные лучи складываются), так и уменьшиться (разные лучи компенсируют друг друга). Интерференционный характер электромагнитного поля внутри помещений (за счет многократных отражений от предметов) выражен более резко. В большей части помещений можно столкнуться и с так называемыми «мертвыми зонами», в которых прием сигнала сильно затруднен. Такая ситуация возможна, даже если передатчик и приемник находятся в прямой видимости. На открытой местности интерференция играет не меньшую роль, чем в помещении. На приемную антенну ВСЕГДА попадает прямая и отраженная волна, поскольку имеет место отражение от земли. На **(Рис. 5)** изображена схема путей прямой и отраженной волн от базовой станции до приемной антенны, а на графике справа на этом же рисунке уровень сигнала в зависимости от высоты для волны длиной 3см.



$$n_1 > n_2 > n_3 > \dots$$

Рис. 1: Явление рефракции

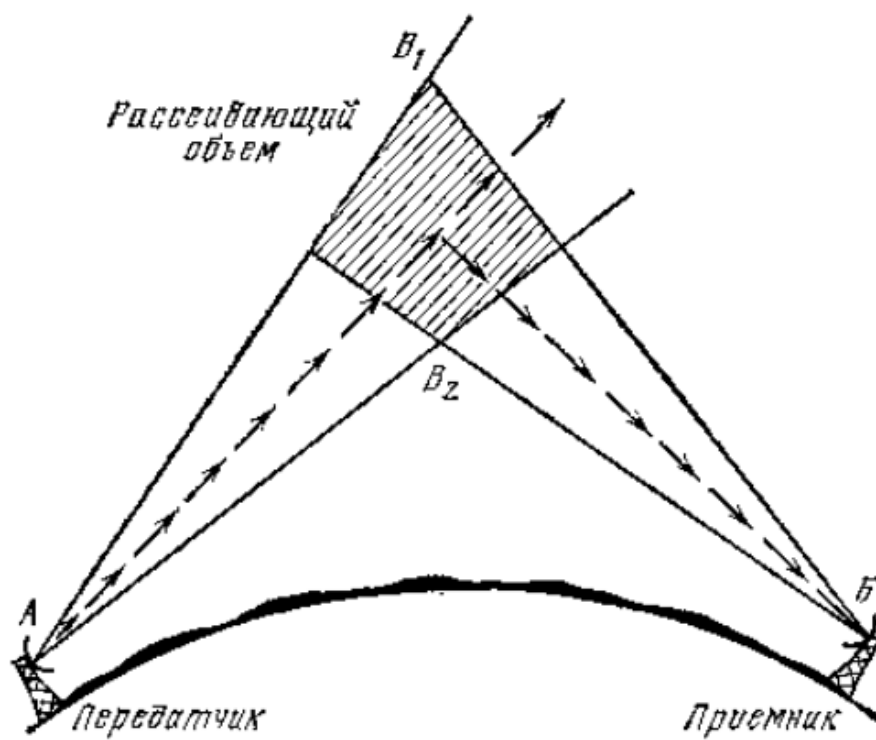


Рис. 2: Явление рассеяния

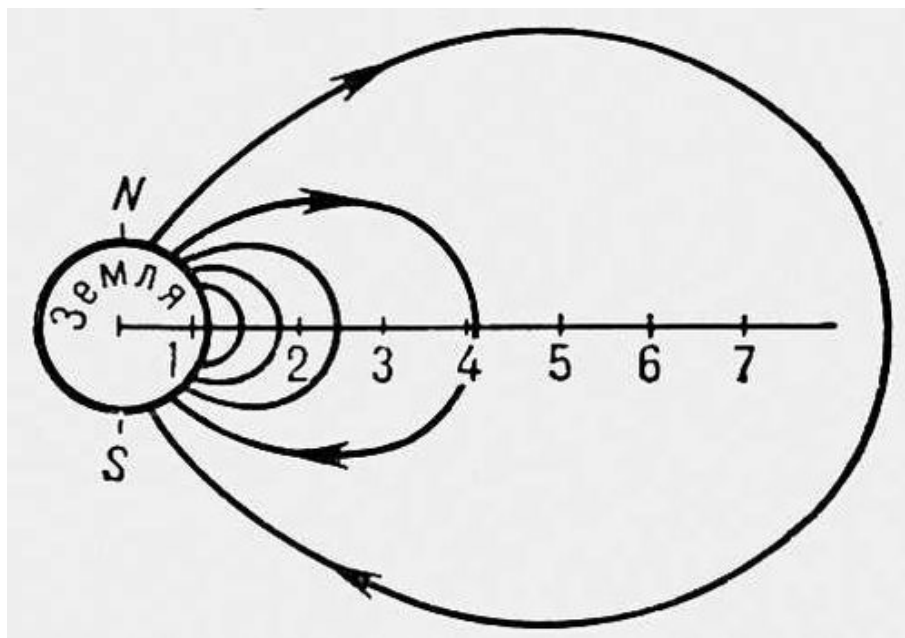


Рис. 3: Распространение радиоволн вдоль магнитной линии

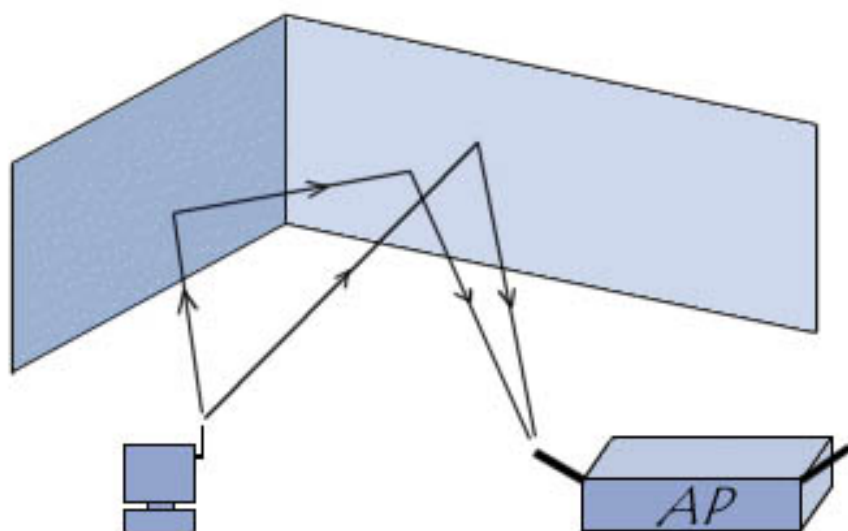


Рис. 4: Явление интерференции

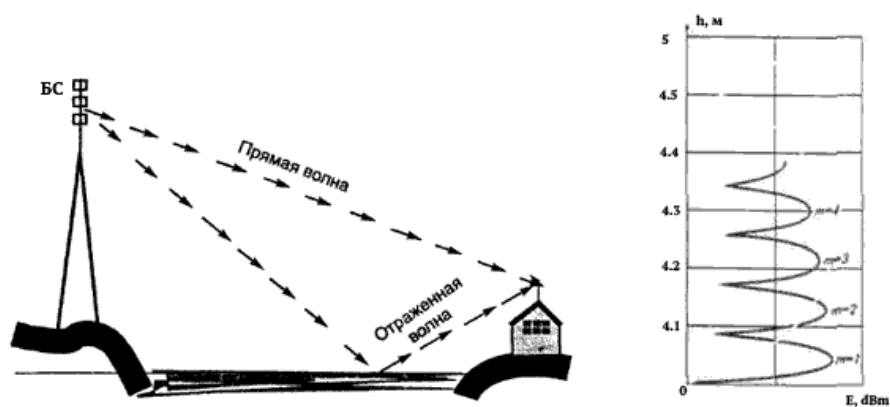
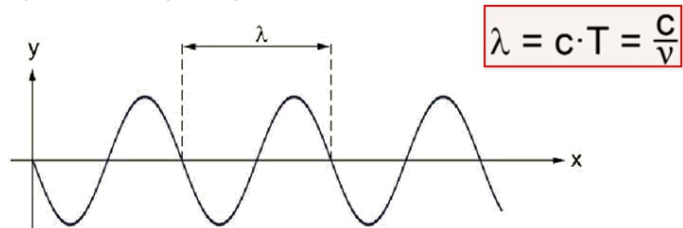


Рис. 5: Явление интерференции

Длина волны – это расстояние, которое проходит волна за время, равное периоду колебаний



c – скорость света в вакууме, $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$,

T – период колебаний электромагнитной волны,

ν – частота колебаний электромагнитной волны

Рис. 6: Частоты для объяснения плоховизны установки 5G/6G вышек

Стандарт связи	Год появления	Скорость передачи данных	Частота
1G	1984	2 кбит/с	150 МГц
2G	1991	14,4 кбит/с	1,8 ГГц
3G	2002	3,6 Мбит/с	2 ГГц
4G	2007	100 Мбит/с	8 ГГц
5G	2018	2 Гбит/с	До 300 ГГц

Рис. 7: Частоты