



# РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Авторы: А. П. Сухоруков

---

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН, процессы передачи электромагнитных волн радиодиапазона в пространстве от одного места к другому, в частности от передатчика к приёмнику. В естеств. условиях Р. р. происходит в разл. средах – в атмосфере, космич. плазме, в приповерхностном слое Земли. Р. р. существенно зависит от длины волны, освещённости земной атмосферы Солнцем, от трассы распространения (вертикальная, наклонная и др.) и от ряда др. факторов.

В однородных средах радиоволны распространяются прямолинейно, подобно световым лучам. Однако реальные среды (в частности, атмосфера, где происходит Р. р.) неоднородны. В них показатель преломления  $n$  меняется на разных участках распространения: и в горизонтальной плоскости, и по высоте. Так, при Р. р. в тропосфере, показатель преломления которой с высотой убывает, радиоволны отклоняются к Земле, огибая выпуклости. Это явление, называемое нормальной тропосферной рефракцией, способствует Р. р. за пределы прямой видимости. Практически этот эффект существен только для ультракоротких волн (УКВ), а для более длинных волн преобладает огибание в результате дифракции. Метеорологич. условия могут ослаблять или усиливать рефракцию. Высокие холмы, возвышенности, горы также сильно «возмущают» поле, образуя затенённые области. Дифракция радиоволн на горных хребтах иногда приводит к усилению волны из-за интерференции прямых и отражённых от поверхности Земли волн. Кроме регулярных изменений напряжённости электрич. поля с высотой, в тропосфере существуют нерегулярные неоднородности (флуктуации), возникающие в результате неупорядоченного движения воздуха. На них происходит рассеяние радиоволн УКВ-диапазона, приводящее к флуктуациям амплитуды и фазы радиоволны. Поле в точке приёма образуется в результате интерференции большого числа рассеянных волн, поэтому изменения амплитуды и фазы сигнала беспорядочны.

Однако ср. значение амплитуды сигнала значительно превышает амплитуду, которая могла бы быть обусловлена нормальной тропосферной рефракцией.

В пространстве, ограниченном снизу Землёй, а сверху отражающим слоем тропосферы, образуется атмосферный волновод и волна может распространяться на очень большие расстояния. Таким волноводным способом могут распространяться только дециметровые, сантиметровые и более короткие волны. Поглощение радиоволн в тропосфере пренебрежимо мало.

Р. р. в ионосфере сложнее, чем в тропосфере. Электр. свойства ионосферы различны для разных диапазонов радиоволн. Показатель преломления ионосферы

$$n \approx \sqrt{1 - \omega_0^2/\omega^2}, \text{ где}$$

$\omega$  – частота радиоволны,

$\omega_0$  – плазменная (ленгмюровская) частота электронов. В ионосфере могут распространяться волны только с частотой

$\omega > \omega_0$ . С увеличением частоты радиоволны показатель преломления ионосферы растёт, приближаясь к 1. Падающая вертикально на ионосферу волна, проникая в ионосферу, распространяется в ней до такого уровня, на котором

$$\omega = \omega_0 \text{ и}$$

$n = 0$ . На этой высоте происходит полное отражение волны от ионосферного слоя.

Макс. частота волны, отражающейся от слоя ионосферы при вертикальном падении, называется критической

$$\omega_{кр} = \omega_{0\text{макс}}. \text{ Критич. частота слоя}$$

F2 ионосферы изменяется в течение суток и от года к году приблизительно от 5 до 10 МГц. Волны с частотой

$$\omega > \omega_{кр}$$

(F2) проходят через слой не отражаясь. При наклонном падении волны на ионосферу происходит рефракция, как в тропосфере. Радиоволна, падающая на ионосферу под углом

$\varphi_0$ , поворачивает к Земле на высоте

$h$ , для которой выполняется условие

$$n(h) = \sin \varphi_0. \text{ Макс. частота волны, отражающейся от ионосферы при падении под этим}$$

углом, равна

$\omega_{кр} \sec^2 j_0 > \varphi_{кр}$  и называется максимально применимой частотой

$\omega_{мпч}$ . Волны с

$\omega < \omega_{мпч}$ , отражаясь от ионосферы, возвращаются к Земле, что используется для дальней радиосвязи (см. [Ионосферный волновод](#)).

Кроме регулярной зависимости электронной концентрации от высоты, в ионосфере постоянно происходят случайные изменения концентрации. Ионосферный слой содержит большое число неоднородных образований разл. размера, которые возникают, напр., при вторжении метеоритов и находятся в постоянном изменении. Поэтому в точку приёма, кроме осн. отражённого сигнала, приходит множество рассеянных волн, что приводит к [замираниям радиоволн](#) – хаотич. изменениям сигнала. Существование неоднородных образований делает возможным рассеянное отражение радиоволн при частотах, значительно превышающих макс. частоты отражения от регулярной ионосферы. Аналогично рассеянию на неоднородностях тропосферы это явление также обуславливает дальнее Р. р. (метрового диапазона).

В системах связи между подземными или подводными пунктами используют частичное Р. р. вдоль поверхности Земли или моря. Преимущество систем подземной связи состоит в их независимости от бурь, ураганов и искусств. разрушений на поверхности Земли. Кроме того, системы подземной связи обладают высокой помехозащищённостью от пром. и атмосферных шумов.

## Литература

Лит.: Долуханов М. П. Распространение радиоволн. 4-е изд. М., 1972; Грудинская Г. П. Распространение радиоволн. 2-е изд. М., 1975; Черенкова Е. Л., Чернышев О. В. Распространение радиоволн. М., 1984.