

Рис. 1. а — рефракция радиоволн в плоскостной среде с $\text{grad } n < 0$; б — зависимость квадрата амплитуды напряжённости электрического поля радиоволны от высоты h .

никать в область геом. тени. На границе области геом. тени образуется сложное распределение волновых полей. Дифракция радиоволн возникает при наличии на их пути препятствий (непрозрачных или полупрозрачных тел) и особенно существенна в тех случаях, когда размеры препятствий сравнимы с λ .

Если Р. р. происходит вблизи резкой границы (в масштабе λ) между двумя средами с разл. электрич. свойствами (напр., атмосфера — поверхность Земли или тропосфера — ниж. граница ионосферы для достаточно длинных волн), то при падении радиоволн на резкую границу образуются отражённая и преломлённая (прямая) радиоволны. Если отражение происходит от границы проводящей среды (напр., от поверхностного слоя Земли), то глубина проникновения в него определяется толщиной скин-слоя.

В неоднородных средах возможно волноводное распространение радиоволн, при к-ром происходит локализация потока энергии между определ. поверхностями, за счёт чего волновые поля между ними убывают с расстоянием медленнее, чем в однородной среде (атм. волновод). В средах с плавными неоднородностями локализация связана с рефракцией, а в случае резких границ — с отражением.

В среде, содержащей случайные локальные неоднородности, вторичные волны излучаются беспорядочно в разл. направлениях. Рассеянные волны частично уносят энергию исходной волны, что приводит к её ослаблению. При рассеянии на неоднородностях размером $l \ll \lambda$ (т. н. рассеяние Рэлея; см. *Рассеяние света*) рассеянные волны распространяются почти изотропно. В случае рассеяния на крупномасштабных прозрачных неоднородностях рассеянные волны распространяются в направлениях, близких к исходной волне. При $\lambda \approx l$ возникает сильное резонансное рассеяние.

Влияние поверхности Земли на распространение радиоволны определяется как электрич. параметрами ϵ и σ грунтов и водных пространств, образующих земную кору, так и структурой поверхности Земли, т. е. её кривизной и неоднородностью. Р. р. — процесс, захватывающий большую область пространства, но наиб. существ. роль в Р. р. играет область, ограниченная поверхностью, имеющей форму эллипсоида вращения, в фокусах к-рого A и B на расстоянии r расположены передатчик и приёмник (радиотрасса, рис. 2). Большая ось эллипсоида равна $r + \lambda(\pi/4)$, малая ось определяется размерами первой Френеля зоны и $\approx \sqrt{\lambda r/2}$. Ширина трассы уменьшается с убыванием λ . Если высоты z_1 и z_2 , на к-рых расположены антенны передатчика и приёмника над поверхностью Земли, велики по сравнению с λ , то эллипсоид не касается поверхности Земли и она не влияет на Р. р. (рис. 2, а). При понижении обеих или одной из конечных точек радиотрассы (или увеличении длины волны) поверхность Земли пересекает эллипсоид. В этом случае на Р. р. оказывают влияние электрич. параметры области поверхности Земли, ограниченной эллипсом сечения, вытянутым вдоль трассы. При сохранении условий $z_1/\lambda \gg 1$ и $z_2/\lambda \gg 1$ в точке приёма возникает интерференция

между прямой и отражённой волнами (см. *Интерференция волн*). Амплитуда и фаза отражённой волны определяются с учётом Френеля формула для коэф. отражения. Интерференционные максимумы и минимумы обуславливают лепестковую структуру поля, к-рая характерна для дециметровых и более коротких радиоволн. Если $z_1/\lambda < 1$ и $z_2/\lambda < 1$, то радиотрасса выделяет участок поверхности Земли, ограниченный эллипсом с осями $r + \lambda(\pi/4)$ и $\sqrt{\lambda r/2}$. Уменьшение напряжённости поля, а следовательно, и потока энергии, переносимого радиоволной вдоль поверхности Земли

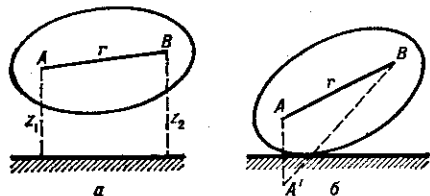


Рис. 2. Эллипсоидальная область пространства, существенная при распространении радиоволны (радиотрасса); А — излучатель; В — приёмник.

(земной волной), обусловлено проводимостью поверхности в этой области. При Р. р. вдоль проводящей поверхности возникает поток энергии, направленный в проводящую среду и быстро затухающий по мере распространения в ней. Глубина проникновения радиоволны в земную кору определяется толщиной скин-слоя $d = \frac{1}{2\pi} \sqrt{c \lambda / \sigma}$ и, следовательно, увеличивается с увеличением длины волны. Поэтому для подземной и подводной радиосвязи используются длинные и сверхдлинные радиоволны.

Выпуклость земной поверхности ограничивает расстояние, на к-ром из точки приёма B «виден» передатчик A (область «прямой видимости», рис. 3). Однако

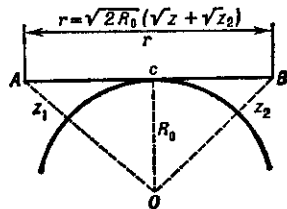


Рис. 3. Дальность «прямой видимости» r ограничена выпуклостью земной поверхности; R_0 — радиус Земли, z_1 и z_2 — высоты передающей A и приёмной B антенн соответственно.

радиоволны, огибая Землю в результате дифракции, могут проникать в область тени на большее расстояние $\sim \sqrt{R_0 \lambda}$ (R_0 — радиус Земли). Практически в эту область за счёт дифракции могут проникать только километровые и более длинные волны (рис. 4).

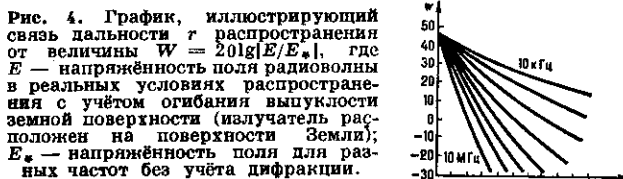


Рис. 4. График, иллюстрирующий связь дальности r распространения от величины $W = 20 \lg |E/E_0|$, где E — напряжённость поля радиоволны в реальных условиях распространения с учётом огибания выпуклости земной поверхности (излучатель расположен на поверхности Земли); E_0 — напряжённость поля для разных частот без учёта дифракции.

Фазовая скорость земных волн вблизи излучателя зависит от электрич. свойств. Однако на расстоянии в неск. λ от излучателя $v_{\phi} \approx c$. Если радиоволны распространяются над электрич. неоднородной поверхностью, напр. сначала над сушей, а затем над морем, то при пе-