

Используя ультракороткие волны сантиметрового диапазона и применяя правильно рассчитанные и хорошо сконструированные антенны, можно сконцентрировать большую часть излучаемой энергии в пределах угла, составляющего всего сотые доли градуса.

§ 91. Распространение электромагнитных волн. Роль ионосферы. «Радиоокно» в космос

Если бы излучающая система находилась в свободном пространстве вдали от Земли, то распространение электромагнитных волн происходило бы прямолинейно. Вследствие проводимости земной поверхности и вследствие ионизации атмосферы условия распространения электромагнитных волн на поверхности земного шара существенно отличны от условий их свободного распространения. Проводимость почвы обуславливает, во-первых, изменения направления распространения волн и, во-вторых, вызывает постепенное поглощение энергии волн при распространении волн вдоль земной поверхности.

На рис. 397 и 398 представлены картины поля электромагнитных волн, излучаемых вертикальной антенной и распространяющихся вдоль земной поверхности. На рис. 397 дан вертикальный разрез поля и показаны направление и (густотой линий) интенсивность электрических сил; рис. 398 показывает горизонтальный разрез поля и мгновенное распределение магнитных силовых линий.

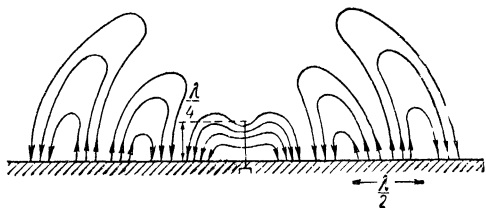


Рис. 397. Электрическое поле (в вертикальном разрезе) излучения вертикальной антенны.

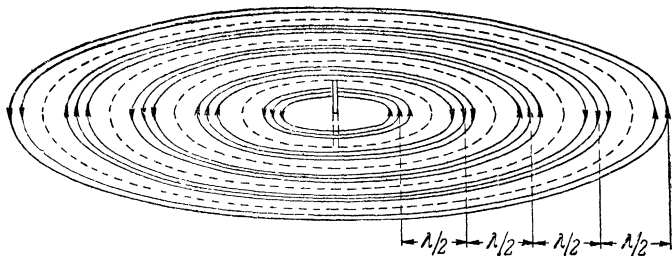


Рис. 398. Магнитное поле (в горизонтальном разрезе) излучения вертикальной антенны.

Влияние ионизации атмосферы отчасти сходно с влиянием проводимости земли, но при распространении коротких волн ионизация

атмосферы обуславливает возникновение некоторых своеобразных явлений.

Ионизация атмосферы вызывается главным образом солнечным и космическим излучением, поэтому ионизация увеличивается с увеличением высоты. Если предположить, что ультрафиолетовое излучение Солнца является основным источником ионизации, то можно предсказать существование на высоте от 90 до 130 км ионизированного слоя с наибольшей концентрацией свободных электронов: около $9,2 \cdot 10^3$ электронов в 1 см^3 .

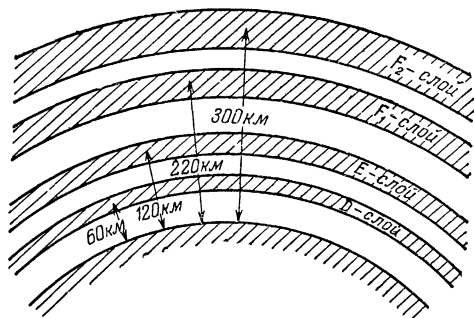


Рис. 399. Распределение слоев максимальной ионизации в атмосфере.

Экспериментальные данные показывают, что строение ионизированных слоев атмосферы является более сложным. Ионизированные слои атмосферы простираются на значительную высоту, причем обнаружено наличие нескольких максимумов ионизации.

На рис. 399 показано приблизительное строение ионизированных слоев атмосферы. Наиболее устойчивым и наиболее важным для распространения длинных волн является слой E. На распространение коротких волн более всего влияет слой F.

Наличие ионизированных слоев обуславливается, конечно, равновесием между действием ионизирующих агентов и процессами обратного восстановления (рекомбинации) ионов. С наступлением ночи при отсутствии основного источника ионизации концентрация свободных электронов уменьшается. При этом процесс рекомбинации более интенсивно происходит в более плотных слоях атмосферы, и максимумы ионизации смещаются кверху.

Как дневная, так и ночная высота максимумов ионизации существенно зависит от времени года для данной части земного шара. В экваториальных областях их высота наименьшая.

Ионизированные слои атмосферы называют *слоем Хевисайда* (по имени исследователя, который первый обнаружил влияние указанного слоя на распространение электромагнитных волн вокруг земного шара), или *ионосферой*.

Картина распространения электромагнитных волн существенно зависит от длины волны.

В радиотехнике электромагнитные волны условно делят на диапазоны, указанные в помещенной ниже таблице.

Диапазон волн	Длина волны	Частота колебаний
Длинные	3000 м и более	Ниже 100 кГц
Средние	3000—200 м	100—1500 кГц
Промежуточные	200—50 м	1,5—6 МГц
Короткие	50—10 м	6—30 МГц
Ультракороткие:		
метровые	10—1 м	30—300 МГц
дециметровые	1—0,1 м	300—3000 МГц
сантиметровые	10—1 см	3000—30 000 МГц

Для длинных радиоволн электропроводность ионосферы (в основном слоя E) эквивалентна проводимости металлической оболочки толщиной в несколько миллиметров на дневной стороне и в несколько сотых миллиметра на ночной.

Поэтому длинные электромагнитные волны, излучаемые системой, расположенной на поверхности земли, распространяются между двумя проводящими поверхностями (рис. 400). Вследствие проводимости земной поверхности и ионосферы силовые линии электрического поля располагаются почти вертикально. Проводящие поверхности «ведут» электромагнитную волну; распространение волны в этом случае сходно с распространением волны вдоль двухпроводной линии; роль проводов играют здесь поверхность земли и ионосфера.

Поглощение длинных волн почвой и ионизированными слоями атмосферы является незначительным, и поэтому эти волны широко используются для деловой международной радиосвязи.

На не слишком больших расстояниях, когда влияние кривизны поверхности земного шара сказывается не сильно, напряженность поля, как было показано акад. М. В. Шулейкиным, определяется формулой

$$E_0 = \frac{300 \sqrt{P}}{r} \frac{\text{милливольт}}{\text{метр}},$$

где r — расстояние в километрах от излучающей радиостанции и P — излучаемая мощность в киловаттах.

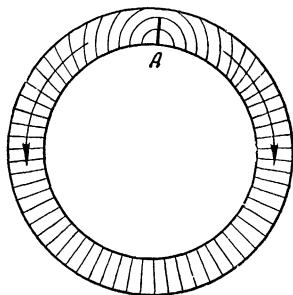


Рис. 400. Огибание земного шара длинными радиоволнами, излучаемыми в точке A .

Средние и промежуточные радиоволны глубоко проникают в ионосферу и испытывают там значительное поглощение. Условия дальнего распространения этих волн «радиовещательного диапазона» существенно улучшаются ночью, когда слои наибольшей ионизации атмосферы смещены кверху. В летнее время помехи, создаваемые грозowymi разрядами, крайне затрудняют радиосвязь на средних волнах.

Энергия средних и промежуточных волн при их распространении заметно рассеивается вследствие поглощения их почвой. Это поглощение почвой тем более велико, чем короче волны.

Поглощение существенно зависит от свойств почвы; над водными поверхностями поглощение меньше, чем над сушей.

Электропроводность морской воды в сотни раз больше электропроводности влажной почвы и в десятки тысяч раз больше электропроводности сухой почвы. Но даже относительно весьма сухая почва является в 100 миллионов раз лучшим проводником электричества, чем атмосферный воздух у поверхности земли. Однако в ионосфере вследствие большой ионизации проводимость воздуха мало отличается от электропроводности морской воды.

При уменьшении длины волны характер излучения все более приближается к световому; в этом случае можно говорить о «луче» электромагнитной волны. Радиосвязь на коротких волнах обуславливается преимущественно «лучами» электромагнитных волн. Ионосфера (в основном слой *F*) представляет собой как бы зеркало для коротких электромагнитных лучей. Луч, отраженный ионосферой, возвращается к земле на большом расстоянии от излучающей системы. Этим объясняется большая дальность радиосвязи на коротких волнах при относительно малых излучаемых мощностях. Однако вследствие изменения ионизации в течение суток условия распространения коротких волн днем резко отличны от условий распространения их ночью.

На близких к излучателю расстояниях радиосвязь может осуществляться посредством прямых «земных» волн. Но эти волны быстро поглощаются почвой. Поэтому при увеличении расстояния прием прекращается, пока мы не приходим в точку падения волны, отраженной от ионосферы (рис. 401); таково происхождение «мертвых зон» при приеме сигналов коротковолновых радиостанций. Максимальные размеры мертвых зон при отражении коротких волн от верхних ионизированных слоев достигают 3500 км.

Интересные явления обнаруживаются при прохождении коротких волн из области дня в область ночи и наоборот. Так как высота ионизированного слоя над уровнем земли резко возрастает после захода солнца, то на границе между днем и ночью наблюдается наклонный ход ионизированных слоев. Это своеобразное наклонное зеркало может обусловить в некоторых случаях исключительную дальность прохождения электромагнитной волны, наличие «эхо» и т. д. На

рис. 402 показан путь луча электромагнитной волны, отраженной от наклонного ионизированного слоя.

Короткие волны при отражении от ионизированных слоев атмосферы испытывают сравнительно небольшую потерю энергии. Сооружение антенн, излучающих энергию в избранных направлениях, является тем более легким, чем короче волна. Как было пояснено в § 89, излучаемая энергия при равных амплитудах тока пропорциональна квадрату частоты. Поэтому мощность генераторов электрических колебаний при использовании коротких волн может быть во много раз уменьшена. Помехи от грозовых разрядов при приеме коротких волн сказываются меньше, чем при приеме более длинных волн. Все это привело к предпочтительному применению в радиотехнике коротких волн, на которых ведется радиовещание и осуществляется радиотелеграфная и радиотелефонная связь (главным образом в диапазоне 15—50 м).

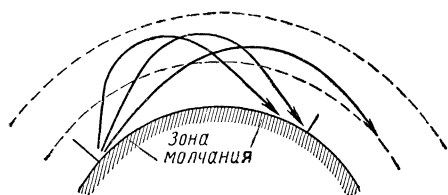


Рис. 401. Преломление лучей коротких волн в ионизированных слоях атмосферы.

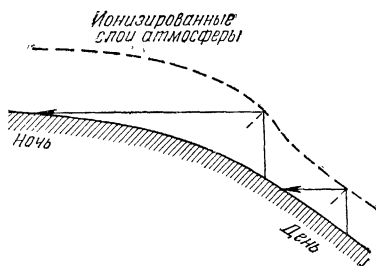


Рис. 402. Дальнее распространение коротких волн при их отражении от наклонных ионизированных слоев атмосферы.

Главным недостатком радиосвязи на коротких волнах являются так называемые *фединги* (*замирания*) приема. Это явление заключается во внезапном крайнем ослаблении поля коротких волн, что происходит вследствие неблагоприятной интерференции волн, отраженных от разных участков ионосферы и прошедших поэтому разные пути. Вызванные этим ослабления (и даже полные исчезновения) радиоприема происходят нерегулярно, но весьма часто и продолжаются минуты. Для смягчения этих замираний приходится строить радиоприемники с большим запасом возможного усиления и автоматической регулировкой громкости приема. Часто применяют также радиоприем одновременно на две антенны, удаленные на 10—15 длин волн.

Обычно замирания для двух таких антенн не совпадают по времени, и поэтому суммарный сигнал, поступающий на вход радиоприемника, почти не испытывает замираний.

При дальней радиосвязи на коротких волнах наблюдается явление *многократного повторения радиосигнала*. Переданный сигнал

воспроизводится при приеме несколько раз с интервалами в тысячные или десятитысячные доли секунды (рис. 403). Это повторение сигнала, как и замирания, вызывается тем, что одновременно излученные волны, распространяясь лучеобразно и отражаясь от нижней

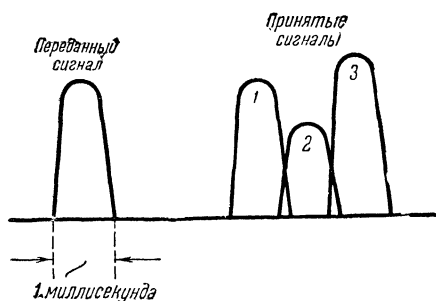


Рис. 403. «Расширение» радиосигнала, принятого на коротких волнах.

границы ионосферы под различными углами (соответственно углу падения луча), отражаясь затем от поверхности земли и снова от ионосферы, приходят в точку приема, пройдя зигзагообразные пути неодинаковой длины (рис. 404).

В отличие от коротких волн ультракороткие волны длиной от 1 см до 10 м, и в особенности сантиметровые волны, имеют весьма

малый «радиус действия». В пределах горизонта картина распространения ультракоротких волн сильно зависит от пересеченности местности. Массивы деревьев, архитектурные сооружения отражают эти волны, делая часто ход лучей зигзагообразным; прямой луч интерферирует с лучом, отраженным от почвы. За горизонтом напряженность поля ультракоротких волн убывает с увеличением расстояния тем быстрее, чем меньше длина волны.

Так, при частоте $30 \cdot 10^6$ гц (10-метровые волны) напряженность поля волны за горизонтом обратно пропорциональна приблизительно третьей степени расстояния, а при частоте $300 \cdot 10^6$ гц (1-метровые волны) напряженность поля обратно пропорциональна восьмой степени расстояния.

Сантиметровые волны испытывают отражение от дождевых и грозных облаков, но проникают без отражения, как и ультракороткие метровые волны, через ионизированные слои атмосферы.

Устойчивая радиосвязь на ультракоротких волнах на расстояниях свыше 60—100 км (без промежуточных передатчиков) практически является невозможной. Зато вследствие ярко выраженного лучевого распространения ультракороткие волны особенно удобны для направленной радиосвязи на небольших расстояниях. Ультракороткие волны (по причинам, которые будут пояснены в § 96) являются единственными волнами, пригодными для передачи высококачественного телевидения.

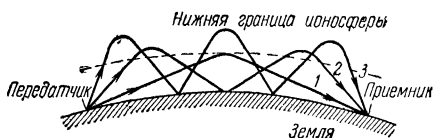


Рис. 404. Образование многократного повторения сигнала вследствие неодинаковой длины лучей, испытавших несколько раз отражение от ионосферы.

Для увеличения непосредственной дальности действия ультракоротких волн передающую и приемную антенны поднимают возможно выше над поверхностью земли.

Большая отдача излучаемой энергии, легкая осуществимость острой направленности излучения, отсутствие резких и частых замираний и незначительность атмосферных помех оправдывают сооружение *ретрансляционных линий дальней связи на ультракоротких волнах* (или, как их иначе называют, *радиорелейных линий*). Такие линии связи состоят из ряда приемно-передающих устройств, размещенных на расстоянии порядка 60—100 км друг от друга. В каждом из этих устройств при приеме остро направленного сигнала автоматически начинает действовать маломощный генератор ультракоротких волн (мощностью около 1 *вт*), возбуждающий направленную антенну, которая передает полученный сигнал дальше, причем форма принятого сигнала воспроизводится в отправляемом сигнале точно, без искажений.

Электромагнитные волны, имеющие длину примерно от 1,25 см до 16 м и приходящие к Земле из космического пространства, проникают через атмосферу с относительно небольшим поглощением. Излучение с длиной волны меньше 1,25 см поглощается молекулами кислорода и водяных паров (за исключением волн длиной около 0,8 см, для которых атмосфера сравнительно прозрачна). Инфракрасные лучи поглощаются атмосферой несравненно сильнее видимых лучей, а ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 0,29 м поглощаются полностью. Таким образом, кроме «оптического окна», имеется еще второе — «радиоокно» для волн в диапазоне 1 см—16 м. Волны длиной более 16 м, приходящие из космического пространства, сильно отражаются атмосферой Земли.

Электромагнитные волны указанного диапазона порождаются в космосе процессами, происходящими в ионизированном газе, и движением электронов в космических магнитных полях. Часть такого излучения возникает в межзвездном ионизированном газе. На этом фоне выделяются своей несколько большей интенсивностью тысячи отдельных источников излучения.

Применение больших антенн с острой направленностью приема в сочетании с особыми радиоприемными устройствами (*радиотелескопов*) позволило установить, что источником излучения метровых — сантиметровых волн являются:

1) те области космического пространства, где когда-либо (хотя бы тысячи лет назад) произошла вспышка «сверхновой звезды»; «сверхновая звезда» бывает видима обычно не долее нескольких месяцев;

2) звездные скопления, находящиеся далеко за пределами нашей Галактики, причем из множества таких галактик — преимущественно те, которые отличаются своим строением от нашей Галактики;

3) скопления ионизированного газа — газовые туманности в нашей Галактике.

Атмосфера Солнца не прозрачна для метровых — сантиметровых волн. Поэтому к нам приходит только та часть этих волн, которая излучается короной Солнца и слоями хромосферы, расположенными на высоте 2000—3000 км над поверхностью фотосферы Солнца. Это излучение Солнца колеблется, возрастая и убывая пропорционально площади пятен на Солнце.

§ 92. Ламповые генераторы электрических колебаний

В 1913 г. А. Мейснер изобрел замечательный способ генерирования незатухающих электрических колебаний посредством электронной лампы (§ 53). Схема *электронно-лампового генератора колебаний* показана на рис. 405. Колебательный контур подключен к аноду и катоду трехэлектродной лампы. Рядом с катушкой колебательного контура на том же каркасе намотана вторая катушка, один конец которой также присоединен к катоду лампы, а другой конец присоединен к сетке лампы. При правильном выборе режима лампы эта установка после начального «толчка», сообщенного замыканием цепи, дает незатухающие электрические колебания с частотой, определяемой емкостью и самоиндукцией контура.

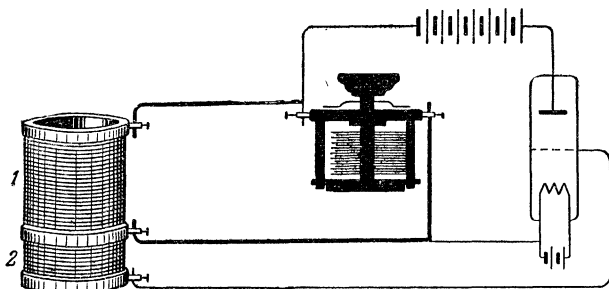


Рис. 405. Схема использования триода для самовозбуждения незатухающих электрических колебаний.

Самовозбуждение колебания производится электронной лампой следующим образом. В начальный момент вслед за замыканием цепи анода электронный поток устремляется внутри лампы от катода к аноду и во внешней цепи от анода через катушку контура 1 к катоду. Быстро нарастая, ток создает, проходя через катушку контура, магнитное поле, которое в момент своего образования индуцирует в катушке сетки 2 электродвижущую силу такого направления, что сетка лампы приобретает по отношению к катоду положительный потенциал. Появление положительного потенциала на сетке мгновенно увеличивает ток, проходящий через лампу и через катушку