

ТЕМА 2

ОСНОВЫ РАДИОСВЯЗИ

ЗАНЯТИЕ 1

ОСНОВЫ РАДИОПЕРЕДАЧИ И РАДИОПРИЕМА

УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1. Общие принципы радиосвязи.**
- 2. Основные характеристики и свойства радиоволн.**
- 3. Распространение радиоволн.**

1. Общие принципы радиосвязи

Основные понятия

Связь - процесс обмена информацией между источником и получателем.

Информация - совокупность сведений о событии или состоянии объекта, выраженная в виде приказов, распоряжений, команд, донесений.

Сообщение – информация, предназначенная для передачи и представленная в определенной форме (речь, текст, изображение). Сообщения представляют собой последовательность или процесс во времени и могут быть непрерывными (звуковые колебания перед микрофоном) или дискретными (телеграфный текст).

Всякое сообщение для передачи по каналу связи должно быть преобразовано в сигнал. **Сигналом** называется изменяющаяся физическая величина (ток, напряжение, электромагнитное поле), отображающая передаваемое сообщение.

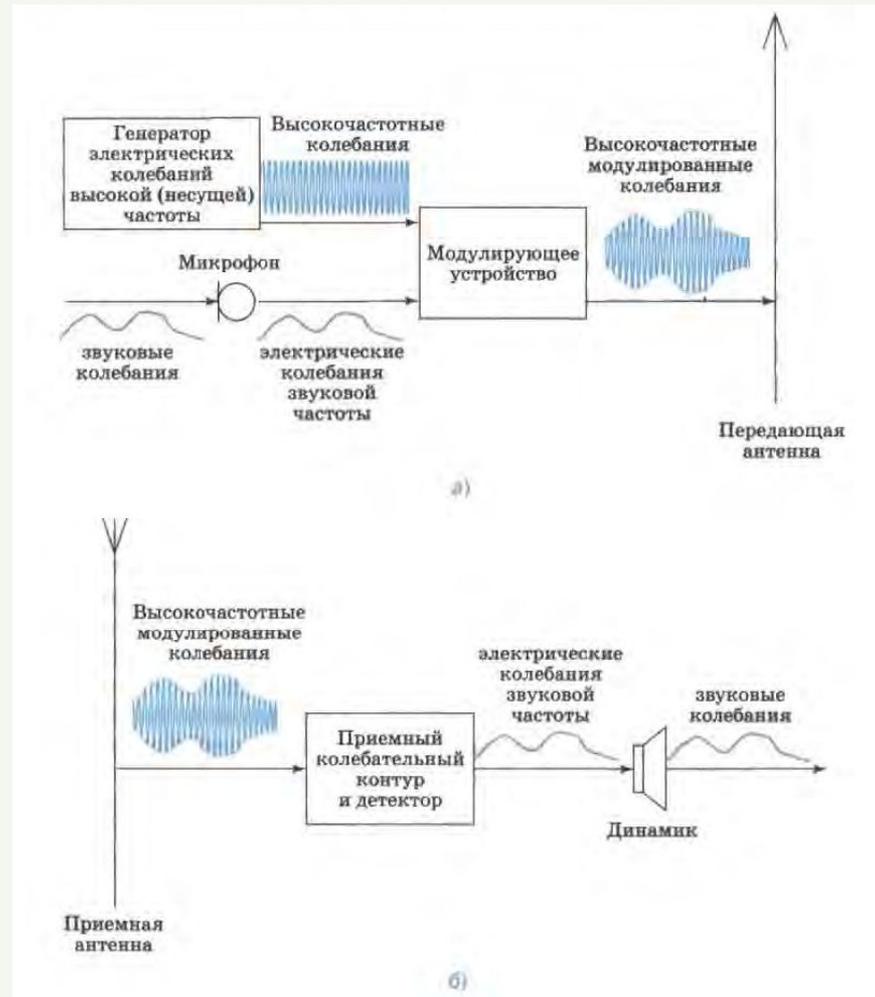
Первичный электрический сигнал носит низкочастотный характер. Он может быть непосредственно передан по проводным линиям связи, но не может эффективно излучаться в среду распространения радиоволн.

Это объясняется тем, что для эффективного излучения в пространство геометрические размеры передающих антенн должны быть соизмеримы с длиной волны сигнала. Очевидно, что для низкочастотных сигналов потребовалось бы создать антенны с геометрическими размерами в десятки километров.

Следовательно, для передачи по радио первичный сигнал должен быть преобразован в высокочастотный сигнал. Но непрерывные ВЧ гармонические колебания с постоянной амплитудой, частотой и начальной фазой не содержат никакого сообщения, кроме указания на то, что работает передатчик.

Для передачи сообщения необходимо изменять параметр ВЧГК в соответствии с передаваемым сообщением (модулировать).

Чтобы услышать модулированные сигналы, то необходимо детектировать (демодулировать), т. е. выделить низкочастотные колебания.



В итоге принцип радиосвязи можно сформулировать следующим образом:

В основе функционирования радиолиний любого назначения лежит свободное распространение электромагнитных волн.

Радиоволны возбуждаются в окружающем пространстве передающими антеннами, к которым от передатчика подводятся токи высокой частоты, несущие благодаря модуляции предназначенную для передачи информацию.

Распространяясь с конечной скоростью вдоль трассы, радиоволны достигают приемной антенны, в которой под их воздействием наводятся высокочастотные токи, несущие информацию.

Эти токи от антенны поступают на вход приемника, где после усиления и преобразования выделяется принятая информация.

Таким образом, любая радиолиния включает в себя

- **приемопередающую аппаратуру,**
- **приемные и передающие антенны,**
- **пространство между ними, называемое средой распространения радиоволн (РРВ).**

Передатчик и приемник

являются управляемыми элементами радиолинии, так как можно
увеличить мощность передатчика,
подключить более эффективную антенну
и увеличить чувствительность приемника.

Среда является неуправляемым элементом радиолинии.

2. Основные характеристики и свойства радиоволн

Радиоволнами называют часть диапазона электромагнитных волн.

Электромагнитные волны представляют собой распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле и в зависимости от частоты колебаний носят разные названия: инфразвуковое, оптическое (инфракрасное и ультрафиолетовое) излучение, видимый свет, рентгеновские лучи.



Явление возбуждения высокочастотным током совокупности электрического (E) и магнитного (H) полей, распространяющихся в пространстве со скоростью света ($V \approx 300000$ км/с), принято называть излучением электромагнитных волн.

***Способы получения электромагнитных волн различны.
Так, радиоволны создаются при прохождении по проводнику
высокочастотного электрического тока.***

Если ток в проводнике (антенне) изменяется периодически по синусоидальному закону, то в пространстве образуется движущееся электромагнитное поле с периодическим повторением во времени значений напряженности электрического и магнитного полей.

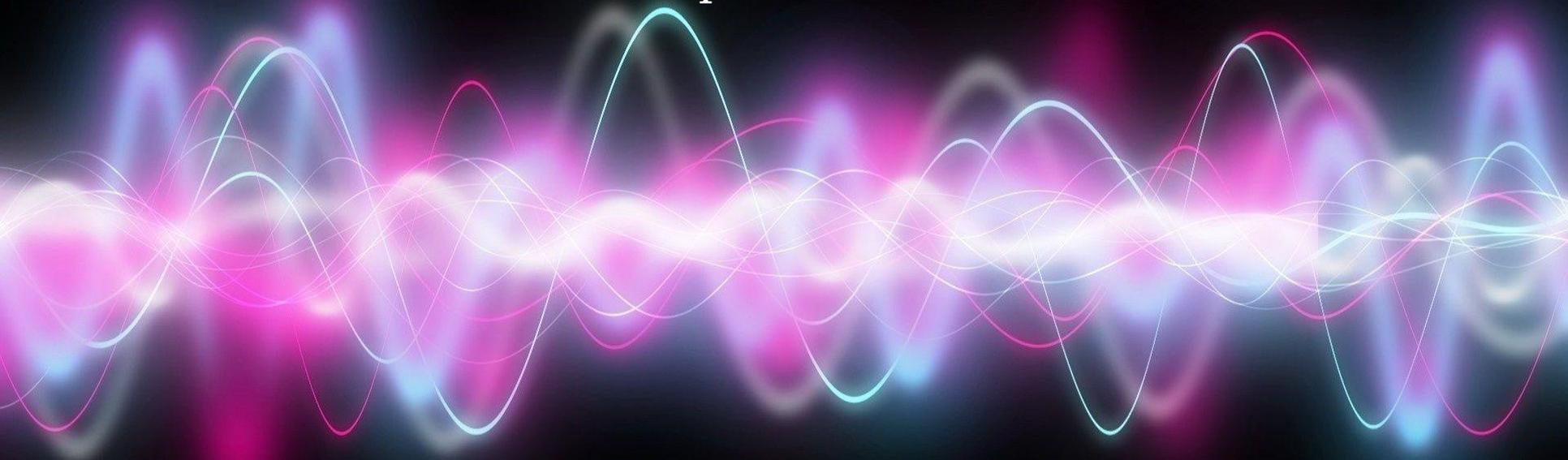
Переменное электрическое поле, вызванное протеканием тока в проводнике, порождает переменное магнитное поле; т.е. антенна, возбуждившее одно из полей, вызывает появление единого электромагнитного поля.

ЭМП, возникшее в некоторой области пространства, не заполняет его мгновенно, а перемещается в нем радиально во все стороны с конечной скоростью, зависящей от свойств среды.

ЭМП возбуждается зарядами и токами. Возникнув, ЭМП существует и тогда, когда породивших ее токов и зарядов уже нет.

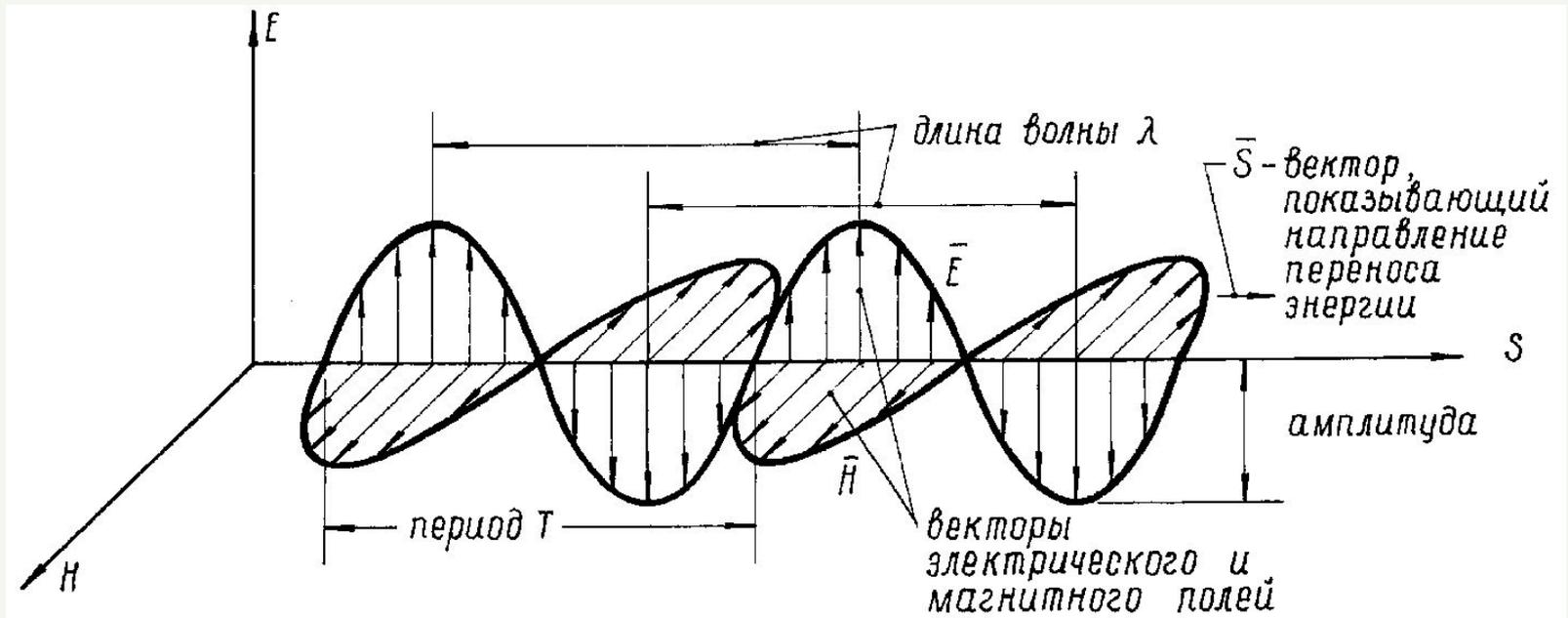
Потерявшее связь со своим источником перемещающееся в пространстве электромагнитное поле и является электромагнитной волной.

Электромагнитные волны – это совокупность взаимосвязанных быстроизменяющихся во времени электрического и магнитного полей, распространяющихся в окружающем пространстве со скоростью света.



Радиоволны – это электромагнитные волны, свободно распространяющиеся в пространстве и имеющие частоту от 3кГц до 3 ТГц ($3 \times 10^3 \dots 3 \times 10^{12}$ Гц)

Основные характеристики радиоволн



период T

- время одного полного колебания

амплитуда

- максимальное значение тока (напряженности поля)

фаза

- величина, характеризующая состояние колебательного процесса в любой момент времени

длина волны λ

- расстояние, на которое распространяется волна за время одного периода колебания;

частота f

- количество полных колебаний в течение одной секунды

Длина волны λ , частота f , период колебаний T и скорость распространения V связаны соотношениями:

$$f = 1 / T; \quad T = \lambda / V ;$$

$$\lambda_{(м)} = V_{(м/с)} / f_{(Гц)}$$

Так как в свободном пространстве скорость распространения ЭМВ равна скорости света ($v = c = 3 \times 10^8$ м/с), то формула будет иметь вид:

$$\lambda_{(м)} = 300 / f_{(МГц)}$$

$$f_{(МГц)} = 300 / \lambda_{(м)}$$

Физические свойства радиоволн.

Среда, в которой распространяются радиоволны, вызывает ряд явлений, которые принято называть свойствами радиоволн:

- **затухание** – уменьшение энергии радиоволны по мере удаления от источника излучения;
- **отражение** от границ двух сред, которые имеют различные свойства (влажность, температура, плотность);
- **преломление** при переходе через границу между двумя различными средами;
- **рефракция** - искривление траектории радиоволны в неоднородной среде;
- **дифракция** – явление частичного огибания препятствий, встречающихся на пути распространения волны;
- **интерференция** – наложение волн, при котором их сила может усиливаться или ослабляться.

Пояснения к некоторым свойствам

Распространяющаяся радиоволна сопровождается переносом энергии, заключенной в электрическом поле.

По мере продвижения радиоволны от места возбуждения переносимая ею энергия постепенно **затухает**: часть ее поглощается средой (превращается в тепло), а часть рассеивается в пространстве.

Затухание радиоволны ограничивает дальность радиопередач. Однако если бы с увеличением расстояния волна не затухала, то было бы невозможно работать даже несколькими радиостанциями на одинаковых частотах, как далеко друг от друга они не находились.

Дифракцией радиоволн называется способность их огибать **препятствия** – кривизну и неровности земной поверхности (горы, холмы, леса, строения).

Явление дифракции наблюдается, когда размеры препятствия на пути волны соизмеримы с длиной волны.

Чем длиннее волна, тем лучше она дифрагирует вдоль поверхности Земли.

Дифракция наиболее заметна на длинных волнах, уменьшается с их укорочением и практически отсутствует у волн короче 1 м.

***Если длина волны больше размеров препятствия,
то радиоволна свободно обходит его.***

***Если длина волны меньше размеров препятствия,
то оно становится преградой на пути волны
(т. е. радиоволна поглощается или отражается
препятствием).***

Интерференция радиоволн представляет собой сложное взаимодействие волн, приходящих в точку приема различными путями (наложение земных и пространственных волн, прямых и отраженных и т. д.).

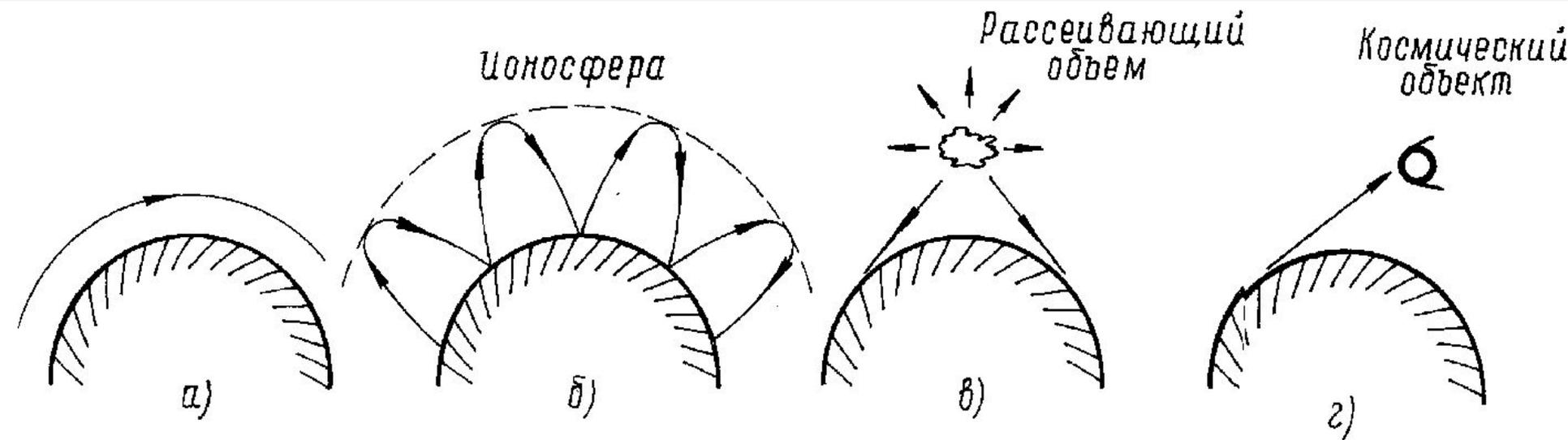
В результате этого явления напряженности полей взаимодействующих волн складываются или вычитываются в зависимости от совпадения или несовпадения их фаз.

Результирующая напряженность поля в то же время может оказаться больше или меньше напряженности каждой из слагаемых волн.

3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Радиоволны в зависимости от условий распространения делятся на **прямые, тропосферные, земные (поверхностные), ионосферные (пространственные).**

- **Земные** – радиоволны, которые распространяются в непосредственной близости от поверхности земли и частично огибают ее поверхность.
- **Ионосферные** – радиоволны, распространяющиеся путем последовательного отражения от верхних слоев атмосферы (ионосферы) и от земной поверхности (КВ радиосвязь).
- **Тропосферные** – радиоволны, которые распространяются в приземной области атмосферы (на высоте 8-18 км), рассеиваются и искривляются на ее неоднородностях (тропосферная УКВ радиосвязь).
- **Прямые** – радиоволны, которые распространяются в свободном пространстве, в частности, в космосе (космическая связь с использованием спутников-ретрансляторов).



Механизмы распространения радиоволн:
а – земной; б – ионосферной; в – рассеянной; г – прямой

Классификация диапазонов радиочастот и радиоволн

№ диап.	Диапазон волн		Диапазон частот	
	Условное наименование	Границы длин волн	Границы частот	Условное наименование
4	Мириаметровые, или сверхдлинные (СДВ)	100-10 км	3-30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)
5	Километровые, или длинные (ДВ)	10-1 км	30-300 кГц	Низкие (НЧ)
6	Гектометровые, или средние (СВ)	1-0,1 км	0,3-3МГц	Средние (СЧ)
7	Декаметровые, или короткие (КВ)	100-10 м	3-30 МГц	Высокие (ВЧ)
8	Метровые (МВ) или ультракороткие (УКВ)	10-1 м	30-300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)
9	Дециметровые (ДМВ)	10-1 дм	0,3-3 ГГц	Ультравысокие (УВЧ)
10	Сантиметровые (СМВ)	10-1 см	3-30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)
11	Миллиметровые (ММВ)	10-1мм	30-300 ГГц	Крайне высокие (КВЧ)
12	Децимиллиметровые (ДММВ)	1-0,1 мм	0,3-3ТГц	Гипервысокие (ГВЧ)

Электрические свойства атмосферы и ее влияние на распространение радиоволн

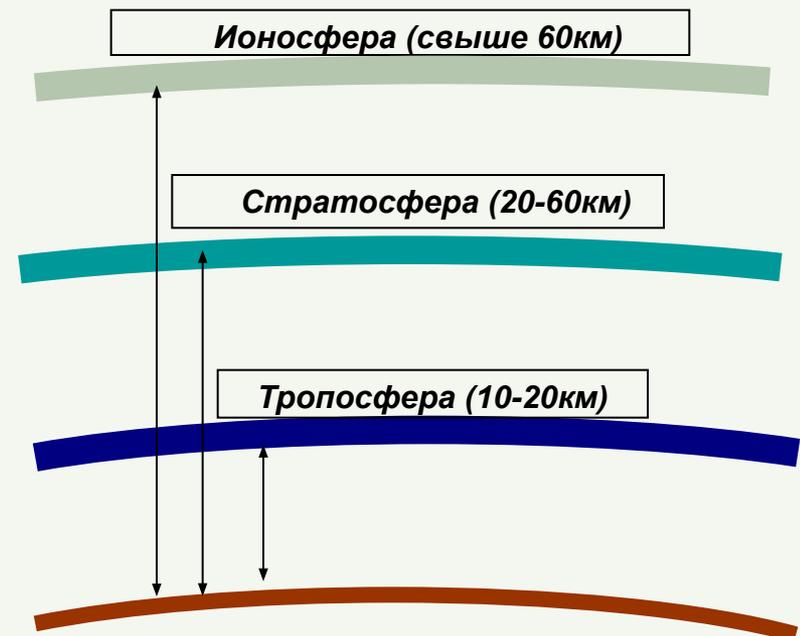
- Атмосферой называется газовая оболочка земли.
- Земная атмосфера, состоящая из воздуха и влаги, является основной средой, где распространяются радиоволны.
 - Состав атмосферы неоднороден.

Атмосфера делится на три части (слоя):

- Верхний слой атмосферы на высотах свыше 60км называют **ионосферой**.

- Слой атмосферы на высотах 20-60км называют **стратосферой**.

- Нижнюю часть атмосферы до высот 10-20км называют **тропосферой**.



Тропосферой называется приземный слой толщиной 10 – 15 км. Она состоит из воздуха и водяных паров. Проводимость воздуха очень мала, поэтому радиоволны длиннее 30 см практически не испытывают поглощения. Более короткие волны поглощаются в капельках воды. Коэффициент преломления тропосферы убывает с увеличением высоты, что приводит к искривлению траектории радиоволны, т.е. к рефракции, особенно заметной в диапазоне УКВ. В тропосфере имеются и локальные неоднородности, способные рассеивать радиоволны диапазона УКВ. На этом основана работа тропосферных линий связи.

Тропосфера постепенно переходит в **стратосферу**, простирающуюся до высот 50 – 60 км. Воздух в этом слое достаточно сильно разрежен и состоит в основном из нейтральных молекул. Поэтому стратосфера существенного влияния на распространение радиоволн не оказывает.

Ионосфера находится на высотах примерно от 60 – 80 до 400 – 600 км и состоит в основном из заряженных частиц. Наличие свободных электрических зарядов обуславливает отражение от ионосферы радиоволн длиннее 10 м. В ионосфере имеется несколько регулярных слоев (максимумов ионизации), которых обозначают символами ***D, E, F***. Ионизированные слои воздуха оказывают сильное влияние на распространение радиоволн.

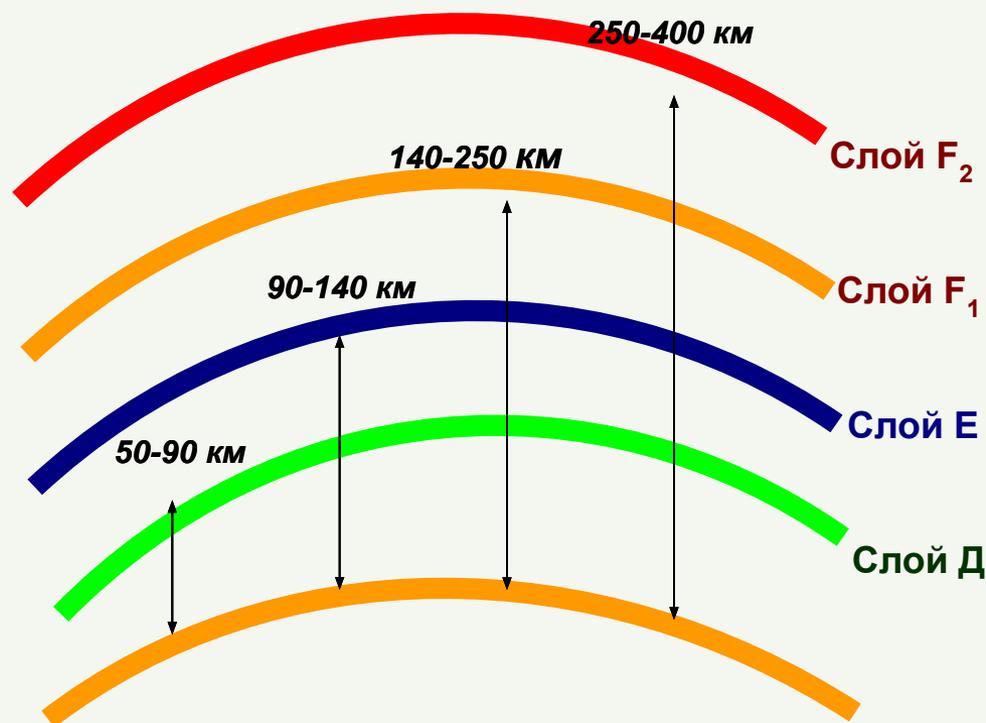
Ближе всего к поверхности земли на **высоте около 60-90км** расположен **слой D**. Это нерегулярное образование ионосферы существует только в дневные часы, когда велика интенсивность солнечного ионизирующего излучения.

Этот слой почти не способен отражать радиоволны, он их только поглощает, и тем сильнее, чем длиннее волна.

На высотах 90-140км постоянно существует **слой E**.

Ночью слой располагается несколько выше, а днем – ниже, что связано с изменениями потока ионизирующего излучения.

От слоя E хорошо отражаются длинные и средние волны, а короткие в нем сильно поглощаются.



Самый верхний слой, **слой F**, располагается на высотах около **140-400км**. В летнее время (май-октябрь) днем он расщепляется на слои F1 и F2. **Слой F1** расположен на высотах **140-250км** и обусловлен ионизацией молекулярного азота, а **слой F2 (250-400км)** обусловлен ионизацией атмосферного кислорода.

Ночью слой F1 исчезает вследствие рекомбинации, а слой F2 сохраняется, хотя концентрация электронов в нем уменьшается.

Слой F2 является основным отражающим слоем для коротких волн.

ВЫВОД:

- Солнечные лучи, попадая в верхние слои атмосферы, создают незначительную ионизацию, т.к. газ очень разряжен.
- По мере проникновения лучей в более плотные слои атмосферы степень ионизации увеличивается. С приближением к земле энергия солнечных лучей падает и степень ионизации опять уменьшается.
- Т.о., ионосфера состоит из нескольких ионизированных слоев, плавно переходящих один в другой. Число ионизированных слоёв, их высота над землёй и степень ионизации зависят от времени суток и времени года, географической широты, плотности атмосферы, солнечной активности.

Ионосфера оказывает существенное влияние на распространение радиоволн, вызывая затухание и отражение. Чем меньше частота, тем больше поглощение. Для каждой трассы существует некоторое минимальное значение частоты, радиоволна которой создает в точке приема достаточную напряженность поля. Такая частота называется *наименьшей применимой частотой* (НПЧ). Радиоволны меньшей частоты при заданной мощности передатчика поглощаются ионосферой и не могут использоваться на данной трассе.

Чем больше частота, тем большей концентрацией электронов должен обладать отражающий слой. Максимальная частота, волна которой способна отразиться от ионосферы при данном угле возвышения, называется *максимально применимой частотой* (МПЧ).

Максимальная частота, радиоволна которой отражается от данного слоя ионосферы при вертикальном излучении, называется *критической частотой* и является важнейшим параметром слоя. Например, для слоя E критическая частота равна нескольким МГц, для слоя F может достигать 10 –15 МГц.

Состояние ионосферы не остается постоянным. Оно зависит от времени года, суток, широты местности и других факторов, являющихся следствием изменения солнечной активности. Нередко летом под действием потока метеоров на высоте 90 – 110 км возникает нерегулярный спорадический слой Es. В ионосфере могут образовываться и локальные неоднородности, вызывающие рассеивание УКВ. Это явление лежит в основе работы ионосферных линий связи.

Особенности распространения радиоволн различных частотных диапазонов

- **Мириаметровые (СДВ 100-10км) и километровые (ДВ 1-10 км)** при достаточной мощности передачи обеспечивают устойчивый прием на расстояние до 20 тыс. км.

а) Распространяются над земной поверхностью - хорошая дифракция - малые потери энергии в земной поверхности – дальность связи земной волной до 3000 км.

б) Независимы от времени года и суток, изменений ионосферы. На радиопутьях свыше 3000км распространяются путем многократного последовательного отражения от нижних слоев ионосферы и земной поверхности.

в) используются для сверхдальней ТЛГ связи, передачи эталонных частот и сигналов точного времени, в глобальных системах навигации, для связи с подводными лодками. ДВ - в радиовещании и радионавигации, а так же для связи в полярных широтах.

Недостатки:

- для связи на большие расстояния требуются сверхмощные передатчики и антенны огромных размеров.
- очень узкий диапазон частот, исключая применение широкополосной модуляции.
- высокий уровень атмосферных помех (спектр излучения разряда молний имеет максимум на частотах 7-30 кГц).

Гектометровые (СВ 100-1000м) имеют сезонную и временную зависимости. Зимой распространяются лучше.

Днем наблюдаются только поверхностные волны, т.к. пространственные поглощаются в ионосфере (слой D). Ночью, с исчезновением слоя D, поглощение уменьшается, волна отражается от более высоких слоев ионосферы.

Дальность связи ИВ при мощности передачи 1кВт достигает 1500-2000км.

Дальность действия земных волн ограничивается 500км вследствие их значительного (по сравнению с ДВ) поглощения почвой.

Не подвержены ионосферному воздействию, поэтому находят широкое применение в северных широтах.

На волнах длиной 485 - 515 м передаются сигналы бедствия.

СВ широко используются для радиовещания.

Декаметровые (КВ 10-100м) имеют более резко выраженную зависимость распространения волны от состояния ионосферы.

Поверхностные волны значительно больше средних поглощаются почвой и хуже огибают выпуклость земли. Дальность их распространения составляет десятки, реже сотни км при мощности передатчика 0,2-1 кВт.

Основную роль в КВ диапазоне играют пространственные волны, которые, отражаясь от самых верхних слоев ионосферы и от поверхности земли, распространяются на тысячи км при небольших мощностях передатчиков.

Выбор ОРЧ производится по радиопрогнозу в зависимости от ионизации атмосферы, поэтому для связи выбирают дневные – более высокие частоты (12-20МГц), ночные – более низкие частоты (5-7,5МГц).

Используются для радиовещания и радиосвязи (в т. ч. любительской).

Широко применяются в Сухопутных войсках в звене от полка и выше.

Ультракороткие волны условно включают несколько поддиапазонов волн короче 10м: *метровые (10-1м), дециметровые (1-0,1м), сантиметровые (10-1см), миллиметровые (10-1мм)*.

Благодаря огромному частотному диапазону имеется возможность передачи колоссального объема информации путем использования широкополосных частотных каналов (космическая, тропосферная, радиорелейная связь).

УКВ широко применяются для связи, радиолокации, радионавигации, радиовещания и телевидения.

Радиосвязь в диапазоне метровых волн получила широкое распространение в тактическом звене управления Сухопутных войск.

Волны УКВ диапазона распространяются различными способами:

- над поверхностью земли в пределах прямой видимости (радио и радиорелейная связь);
- за счет рассеяния волн в тропосфере (тропосферная связь);
- в свободном пространстве между землей и спутниками—ретрансляторами (космическая связь).

***Основные особенности УКВ -
сильное поглощение энергии волн в земле
и отсутствие отражения от ионосферы.***

(Иначе говоря, на распространение ультракоротких волн ионосфера не влияет.
Эти волны проходят сквозь ионосферу, не отражаясь от нее
и не возвращаясь на землю, как другие)

***Дальность связи в УКВ диапазоне невелика потому,
что волны сильно поглощаются землёй
и не обладают выраженным свойством дифракции.***

Для ведения УКВ радиосвязи практически всегда необходима геометрическая видимость между связываемыми пунктами.

$$D = 3,6 (\sqrt{h1} + \sqrt{h2}),$$

где D – дальность связи, ограниченная пределами прямой видимости в км;
 $h1$ и $h2$ – высота подъема приемной и передающей антенн в метрах.

Поглощение энергии УКВ в земле компенсируется повышением эффективности антенн, так как их размеры становятся того же порядка, что и длина волны (АШ-1,5...АШ-4).

Поэтому при наличии геометрической видимости между пунктами связь может поддерживаться при относительно малой мощности радиостанций, а в нижней части спектра (30-50 МГц) ведение связи возможно и на закрытых трассах.

