

**Введение.
Общие сведения о
радиолокации и
радионавигации**

Определения

- Радиоволны
- Радиосистема
- Радиосвязь
- Радиолокация
- Радионавигация

- По назначению РЭС ГА подразделяются:

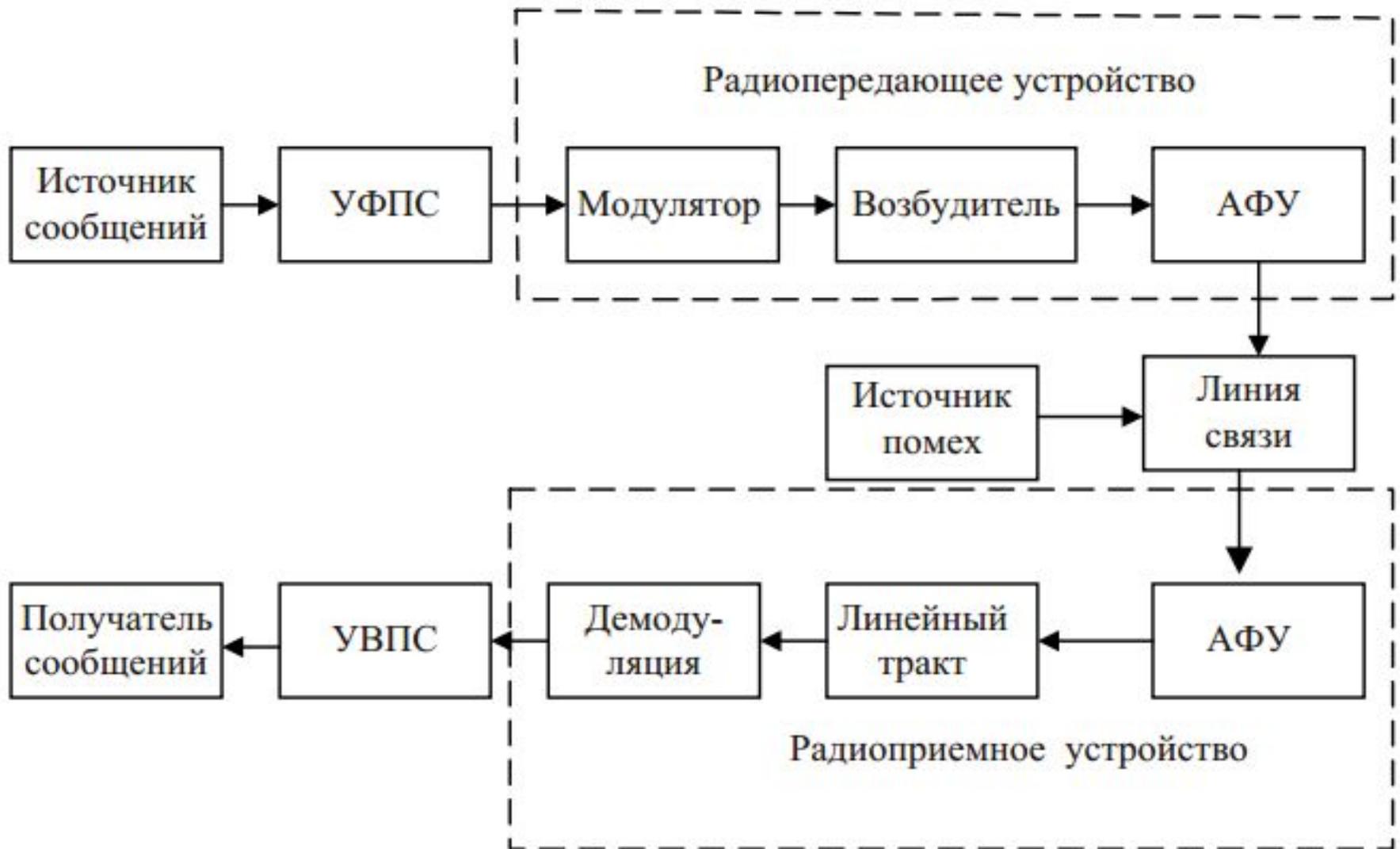
- 1) средства связи;

- 2) средства посадки;

- 3) средства навигации;

- 4) средства управления воздушным движением.

Структурная схема системы радиосвязи

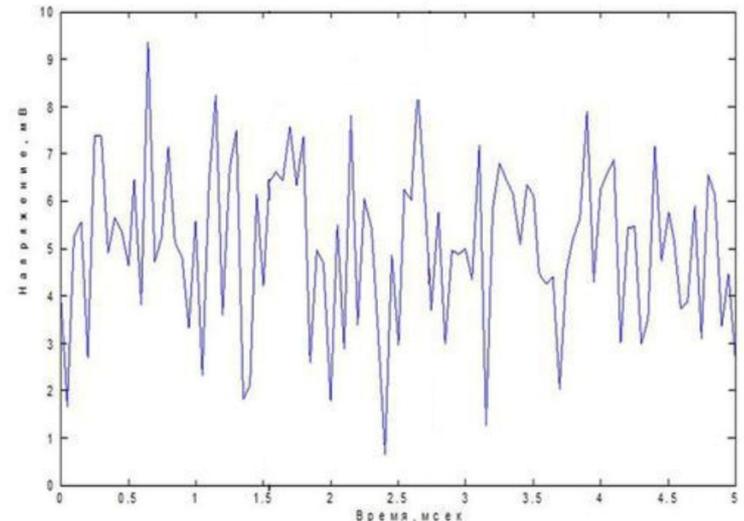
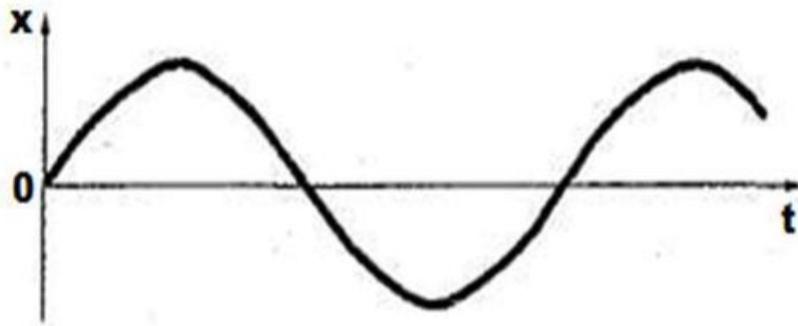


Классификация сигналов

- По информационному признаку:

Детерминированные

Случайные



Классификация сигналов

- По виду:
Непрерывные (аналоговые) Дискретные

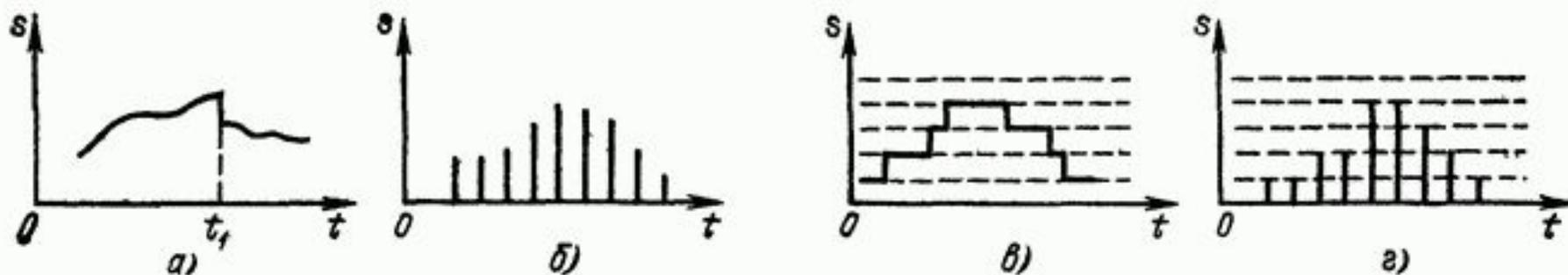
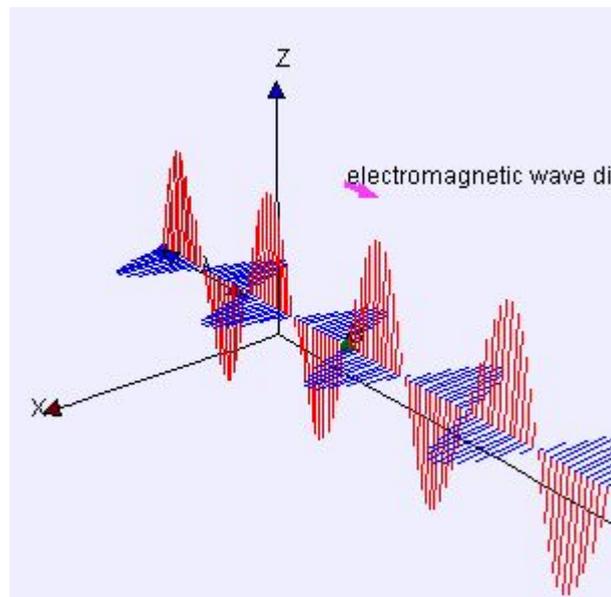
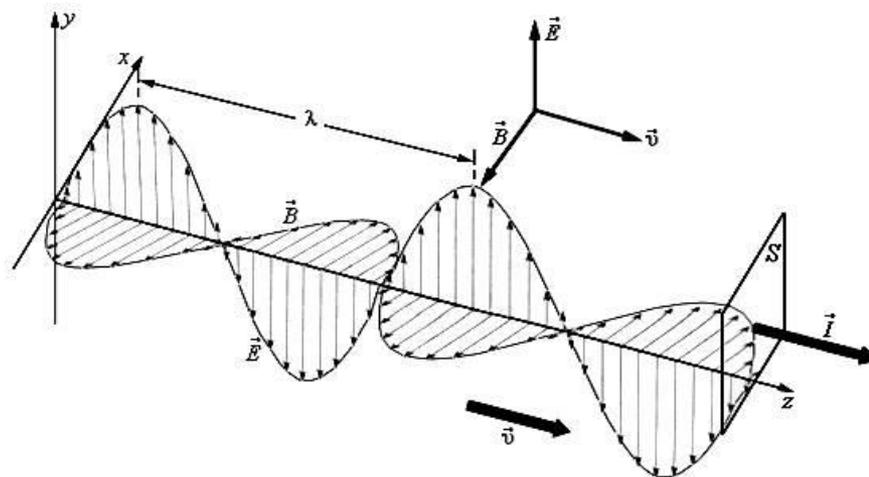
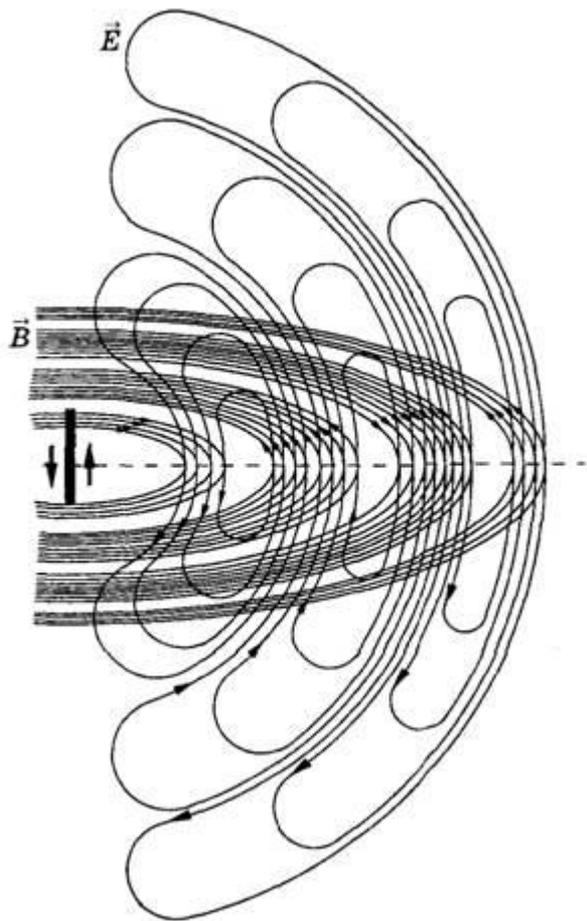


Рис. 1.2. Сигналы произвольные по величине и по времени (а), произвольные по величине и дискретные по времени (б), квантованные по величине и непрерывные по времени (в), квантованные по величине и дискретные по времени (г)

Радиоволны



- **Уравнения Максвелла** – уравнения классической электродинамики, описывающие динамику электромагнитного поля и его связь с зарядами и токами. Уравнения Максвелла явились теоретическим обобщением экспериментальных законов: Кулона, Ампера, законов электромагнитной индукции и других.

Уравнения Максвелла в гауссовой системе единиц имеют вид

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, & \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0, \\ \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}, & \operatorname{div} \mathbf{D} &= 4\pi\rho, \end{aligned}$$

где \mathbf{E} – напряжённость электрического поля, \mathbf{H} – напряжённость магнитного поля, \mathbf{D} – электрическая индукция, \mathbf{B} – магнитная индукция, ρ – плотность электрического заряда, \mathbf{j} – плотность электрического тока.

- Для того, чтобы использовать уравнения Максвелла для решения задач электродинамики в различных средах, необходимо учесть индивидуальные свойства среды.

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \varepsilon \mathbf{E}, \\ \mathbf{B} &= \mu \mathbf{H}, \\ \mathbf{j} &= \sigma \mathbf{E}, \end{aligned}$$

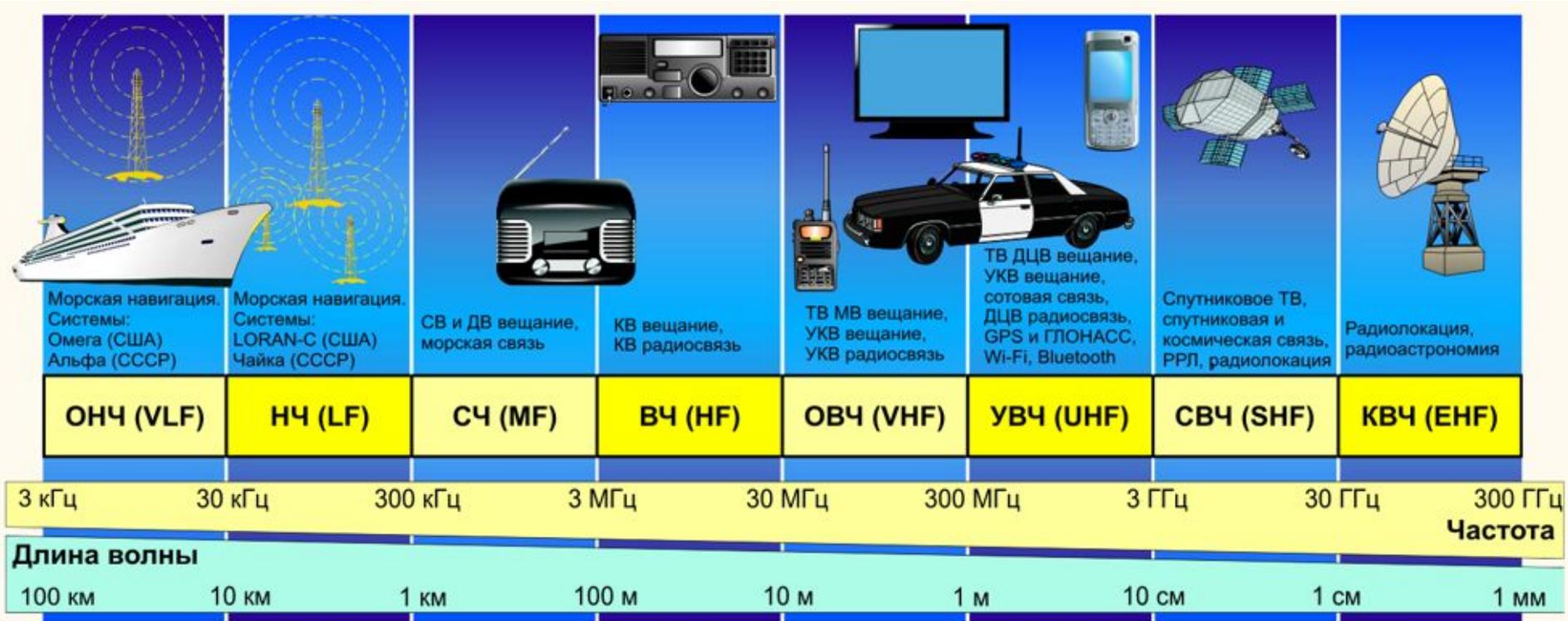
- ε – диэлектрическая проницаемость среды, μ – магнитная проницаемость среды, σ – электропроводность среды.

Диапазоны радиочастот и длин

радиоволн

Обозн-е МСЭ	Длины волн	Название волн		Диапазон частот	Название частот	Применение
ELF	100 Мм — 10 Мм	Декамегаметровые	Сверхдлинные волны	3—30 Гц	Крайне низкие (КНЧ)	Связь с подводными лодками, геофизические исследования
SLF	10 Мм — 1 Мм	Мегаметровые		30—300 Гц	Сверхнизкие (СНЧ)	Связь с подводными лодками, геофизические исследования
ULF	1000 км — 100 км	Гектокилометровые		300—3000 Гц	Инфранизкие (ИНЧ)	Связь с подводными лодками
VLF	100 км — 10 км	Мириаметровые		3—30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)	Служба точного времени, радиосвязь с подводными лодками
LF	10 км — 1 км	Километровые	Длинные волны	30—300 кГц	Низкие (НЧ)	Радиовещание, радиосвязь земной волной, навигация
MF	1000 м — 100 м	Гектометровые	Средние волны	300—3000 кГц	Средние (СЧ)	Радиовещание и радиосвязь земной волной и ионосферная
HF	100 м — 10 м	Декаметровые	Короткие волны	3—30 МГц	Высокие (ВЧ)	Радиовещание и радиосвязь ионосферная, загоризонтная радиолокация, рации
VHF	10 м — 1 м	Метровые волны	Ультракороткие волны	30—300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)	Телевидение, радиовещание, радиосвязь тропосферная и прямой волной, рации
UHF	1000 мм — 100 мм	Дециметровые		300—3000 МГц	Ультравысокие (УВЧ)	Телевидение, радиосвязь тропосферная и прямой волной, мобильные телефоны, рации, микроволновые печи, спутниковая навигация.
SHF	100 мм — 10 мм	Сантиметровые		3—30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)	Радиолокация, интернет, спутниковое телевидение, спутниковая- и радиосвязь прямой волной, беспроводные компьютерные сети.
EHF	10 мм — 1 мм	Миллиметровые		30—300 ГГц	Крайне высокие (КВЧ)	Радиоастрономия, высокоскоростная радиорелейная связь, радиолокация (метеорологическая, управление вооружением), медицина, спутниковая радиосвязь.
THF	1 мм — 0,1 мм	Децимиллиметровые		300—3000 ГГц	Гипервысокие частоты, длинноволновая область инфракрасного излучения	Экспериментальная «терагерцовая камера», регистрирующая изображение в длинноволновом ИК (которое излучается теплокровными организмами, но, в отличие от более коротковолнового ИК, не задерживается диэлектрическими материалами).

Диапазоны радиочастот и длин радиоволн



- **Антенна** — устройство, предназначенное для излучения или приёма радиоволн

Антенны в зависимости от назначения подразделяются на приёмные, передающие и приёмно-передающие

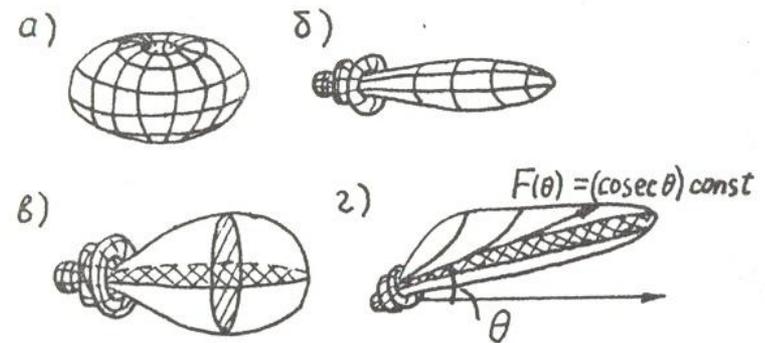
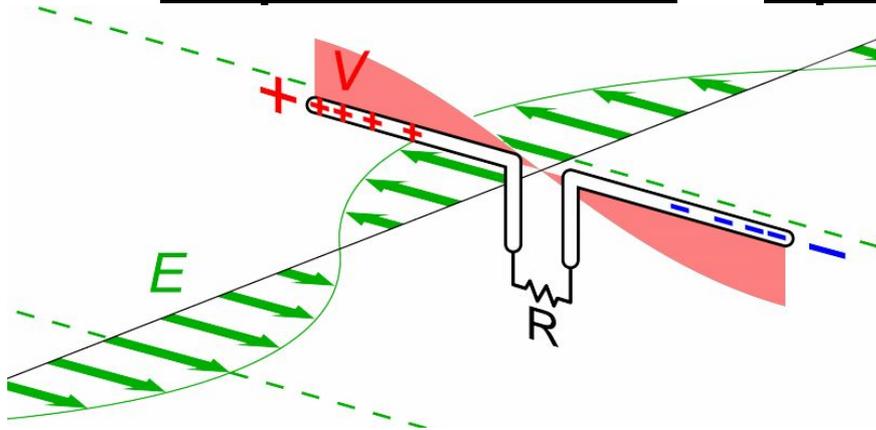


Рис. 1.6. Типы диаграмм направленности:
 а) тороидальная; б) игольчатая;
 в) веерная; г) косекансная

Свойства радиоволн

- Постоянство скорости распространения радиоволн в однородной среде.
- Прямолинейность пути распространения радиоволн.
- Отражение радиоволн от границы двух сред.
- Изменение частоты радиосигнала при отражении его от движущегося объекта (эффект Доплера).
- Интерференция радиоволн.

1. Постоянство скорости распространения радиоволн в однородной среде.

- Скорость распространения радиоволн в воздухе принимается равной скорости ЭМВ в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/сек.
- Это свойство используется для определения дальности до цели по времени запаздывания радиосигнала на пути РЛС-цель-РЛС.
- В диэлектрике скорость распространения радиоволн меньше чем в вакууме и определяется выражением

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}},$$

- где: ϵ и μ - относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

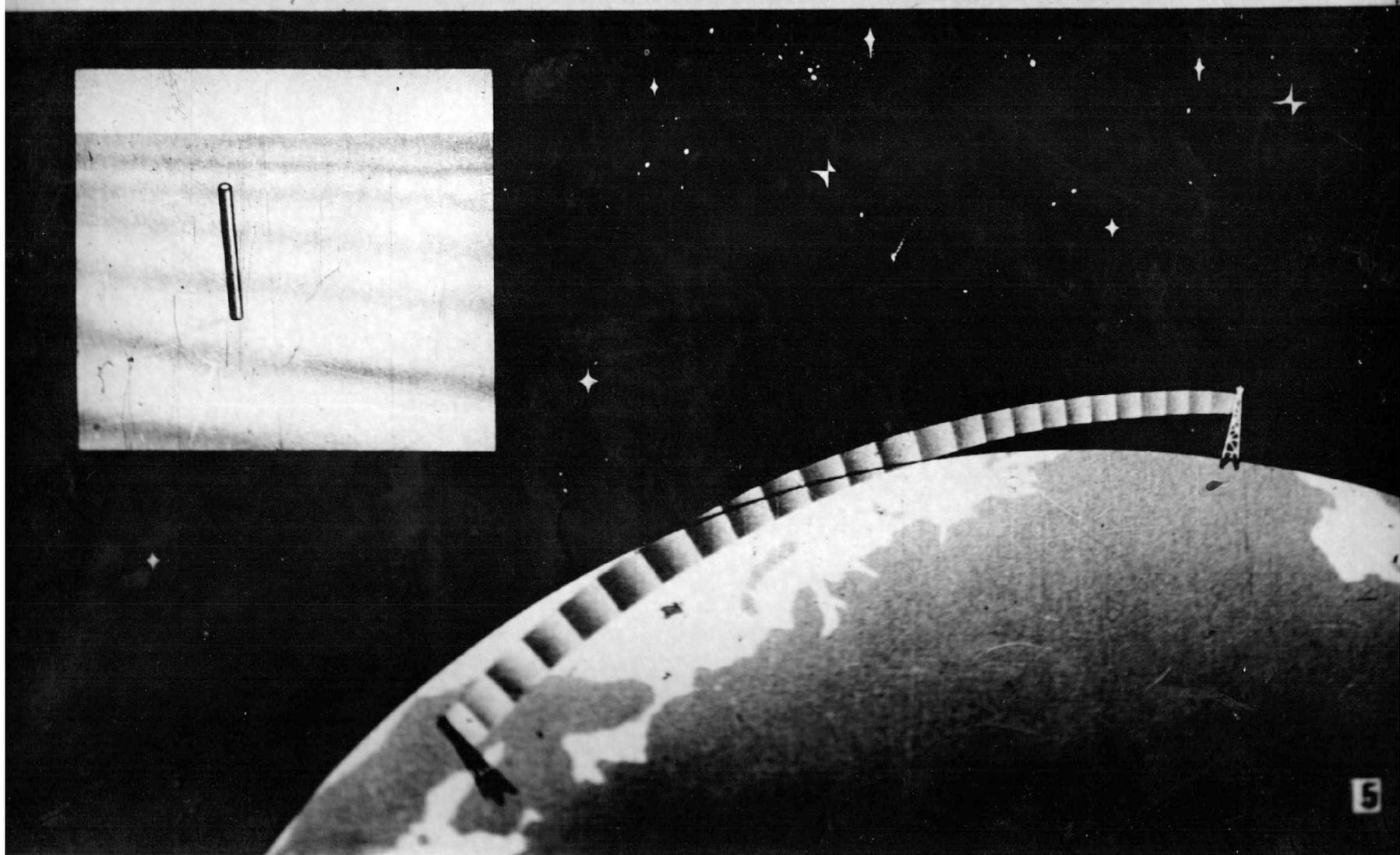
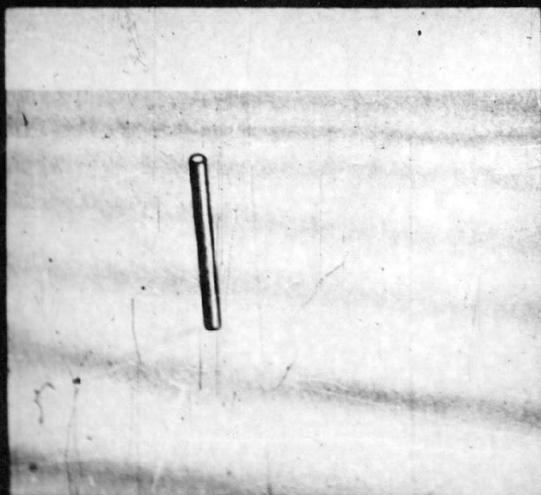
2. Прямолинейность пути распространения радиоволн.

- Несмотря на возможное искривление пути распространения радиоволн под влиянием неоднородности атмосферы (рефракция) в радиолокации с высокой эффективностью используется допущение о прямолинейности распространения радиоволн.
- Это свойство используется для определения угловых координат цели по направлению прихода отраженного от нее сигнала.

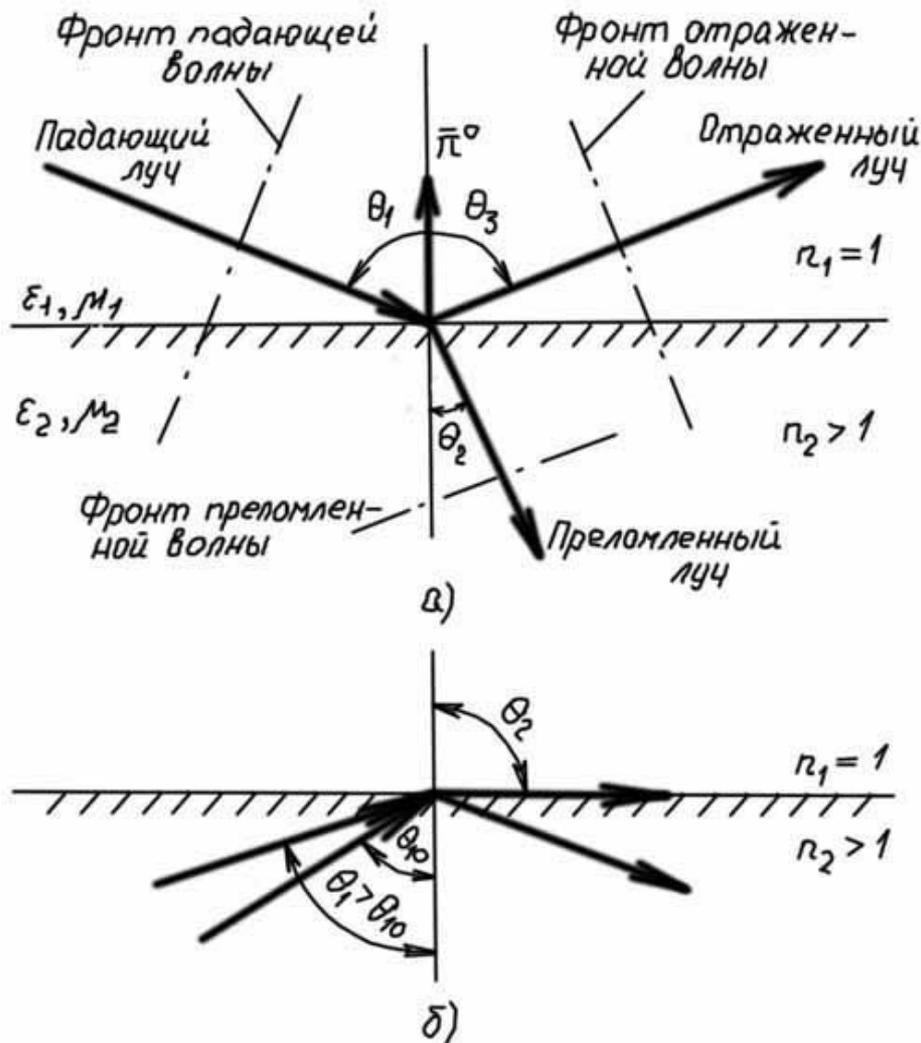
Первоначально предполагалось, что радиоволны распространяются только прямолинейно, подобно лучам света в однородной среде.



Но впоследствии оказалось, что как и другие волны, радиоволны обладают свойством дифракции, следовательно, они способны огибать выпуклую поверхность земного шара.

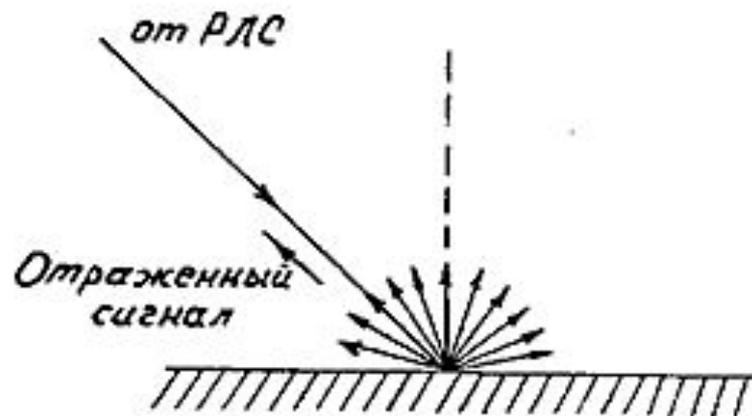


3. Отражение радиоволн от границы двух сред.

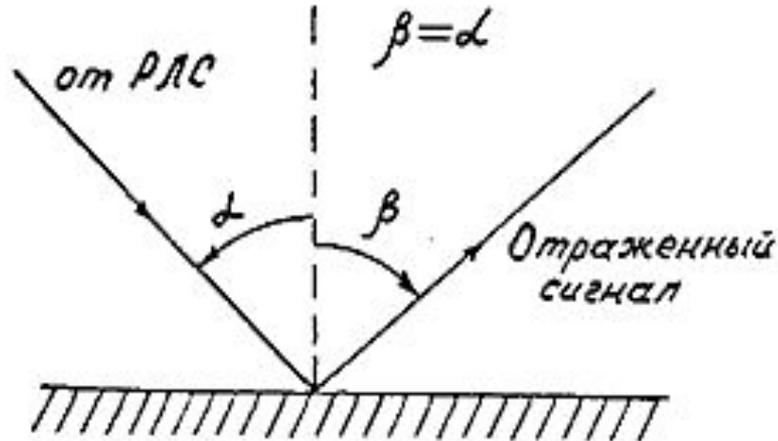


- На границе раздела двух однородных сред, имеющих разные параметры, происходит **преломление и отражение радиоволн**. Проходя через плоскую границу раздела во вторую среду, волна изменяет первоначальное направление и дальше во второй среде распространяется по другому направлению. Такое явление называется преломлением волны. Кроме того, она частично отражается от границы раздела и остается в первой среде. Такое явление называется отражением волны.
- Отражение радиоволн (вторичное излучение радиоволн) для радиолокационных объектов бывает: зеркальное, резонансное и

- **Диффузное (рассеянное) отражение** возникает при облучении негладкой поверхности, когда размеры отражающих элементов больше длины волны. При таком отражении энергия волн распространяется от облучаемой поверхности почти равномерно во всех направлениях, только малая часть энергии возвращается обратно к антенне, излучаемой РЛС самолета. Такое отражение происходит от земной поверхности при облучении полей, лесов, а также различных конструкций, как застроенных, так и незастроенных участков, неспокойной волновой поверхности от самолет



- **Зеркальное отражение** происходит от гладких поверхностей, то есть от поверхностей, неровности которых значительно меньше длины волны. При этом действует известный оптический закон: угол отражения равен углу падения волны. Следовательно, отраженная волна (энергия отраженной волны) практически полностью распространяется в сторону, противоположную направлению излучения – от самолета. В этом случае отраженный сигнал на входе приемника РЛС отсутствует. В частном случае, когда волна падает перпендикулярно отражающей поверхности, зеркально отразившаяся волна возвращается обратно к самолету. Такое отражение, например, происходит при облучении гладкой водной поверхности (во время штиля), бетониров



- **Резонансное отражение** возникает в исключительных случаях, когда размеры облучаемой поверхности или ее отдельных элементов соизмеримы с длиной излучаемых волн РЛС. При этом возникают явления, подобные резонансу, и интенсивность отражения резко возрастает. Резонансное отражение происходит, например, при облучении под некоторым углом железнодорожных путей, линий электропередачи, от самолетов, кораблей и других объектов, находящихся на земле.

4. Изменение частоты радиосигнала при отражении его от движущегося объекта (эффект Доплера).

- Эффект Доплера состоит в том, что если объект отражающий или излучающий сигнал движется, то неподвижный наблюдатель зафиксирует изменение частоты принимаемого сигнала. Если объект движется к наблюдателю - частота сигнала растёт, если от наблюдателя - уменьшается.
- На основании эффекта Доплера определяется радиальная скорость цели V_r .
- Непосредственно измеряется так называемая «доплеровская добавка частоты»

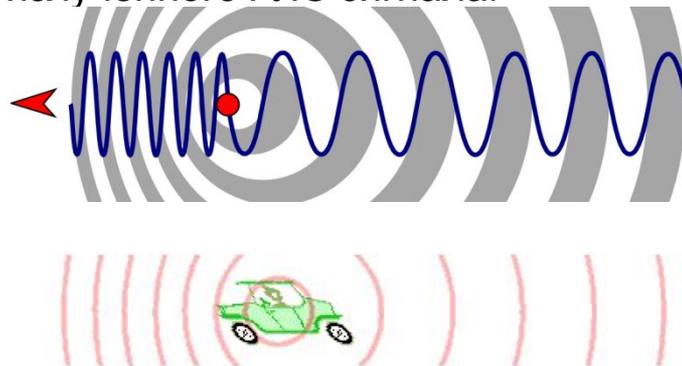
$$F_{\Delta} = f_{\text{прин}} - f_{\text{изл}}$$

как разность между частотами излученного ($f_{\text{изл}}$) и принятого от цели ($f_{\text{прин}}$) сигналов.

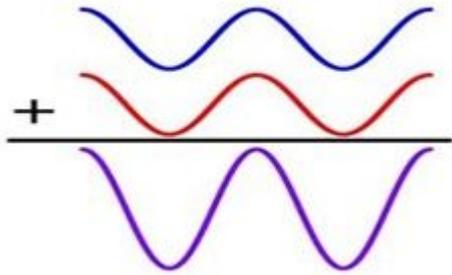
- Радиальная составляющая скорости движения цели определяется в соответствии с выражением:

$$V_r = \frac{F_{\Delta} \lambda}{2},$$

- где: λ -длина волны излученного РЛС сигнала.



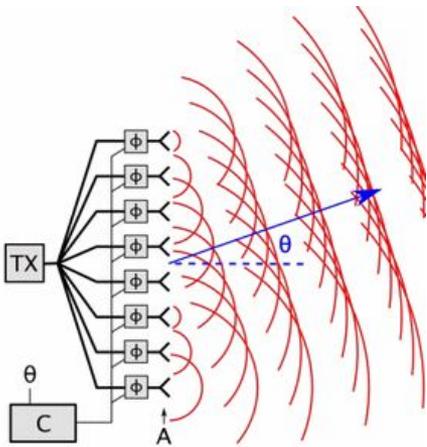
5. Интерференция радиоволн.



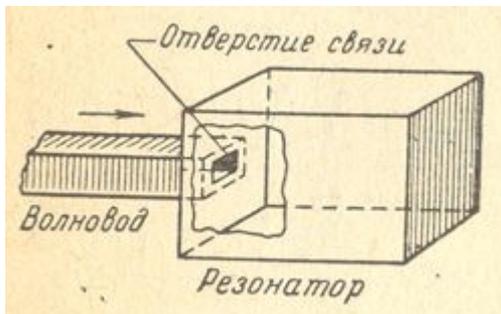
- Интерференция радиоволн - геометрическое сложение в пространстве двух (или нескольких) волн, при котором в разных точках получается усиление или ослабление амплитуда результирующей волны. Интерференция возможна, если волны когерентны.
- Простейший случай интерференции - сложение двух волн одинаковой частоты при совпадении направления их распространения. В этом случае, для синусоидальных (гармонических) колебаний, амплитуда результирующей волны в какой-либо точке пространства

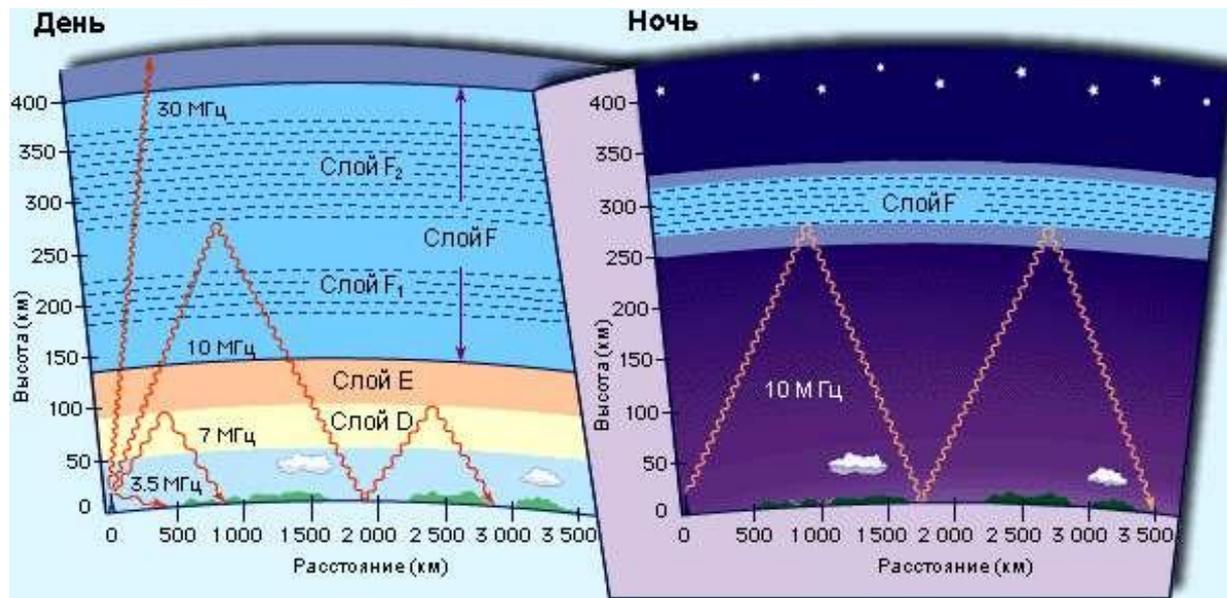
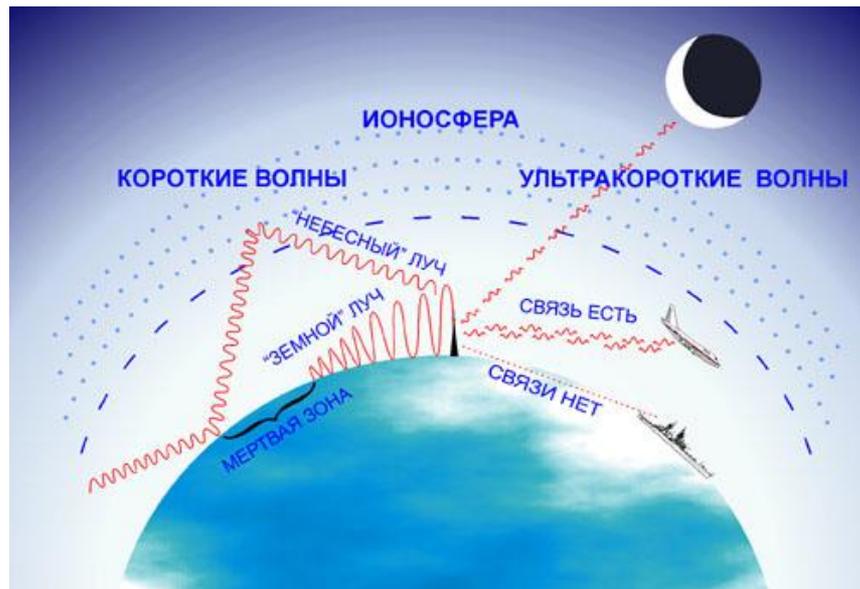
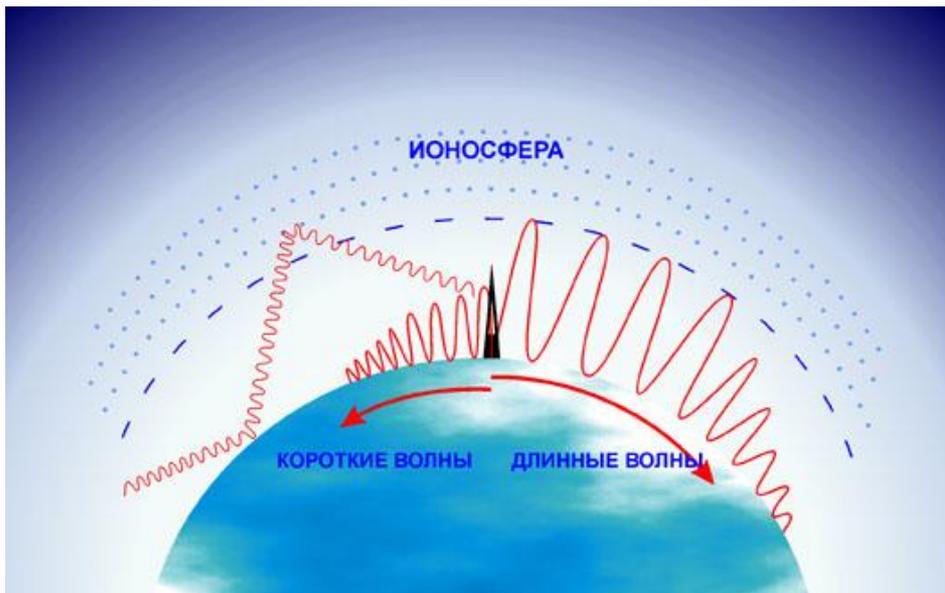
$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \varphi}$$

где A_1 и A_2 — амплитуды складывающихся волн, а φ - разность фаз между ними в рассматриваемой точке.

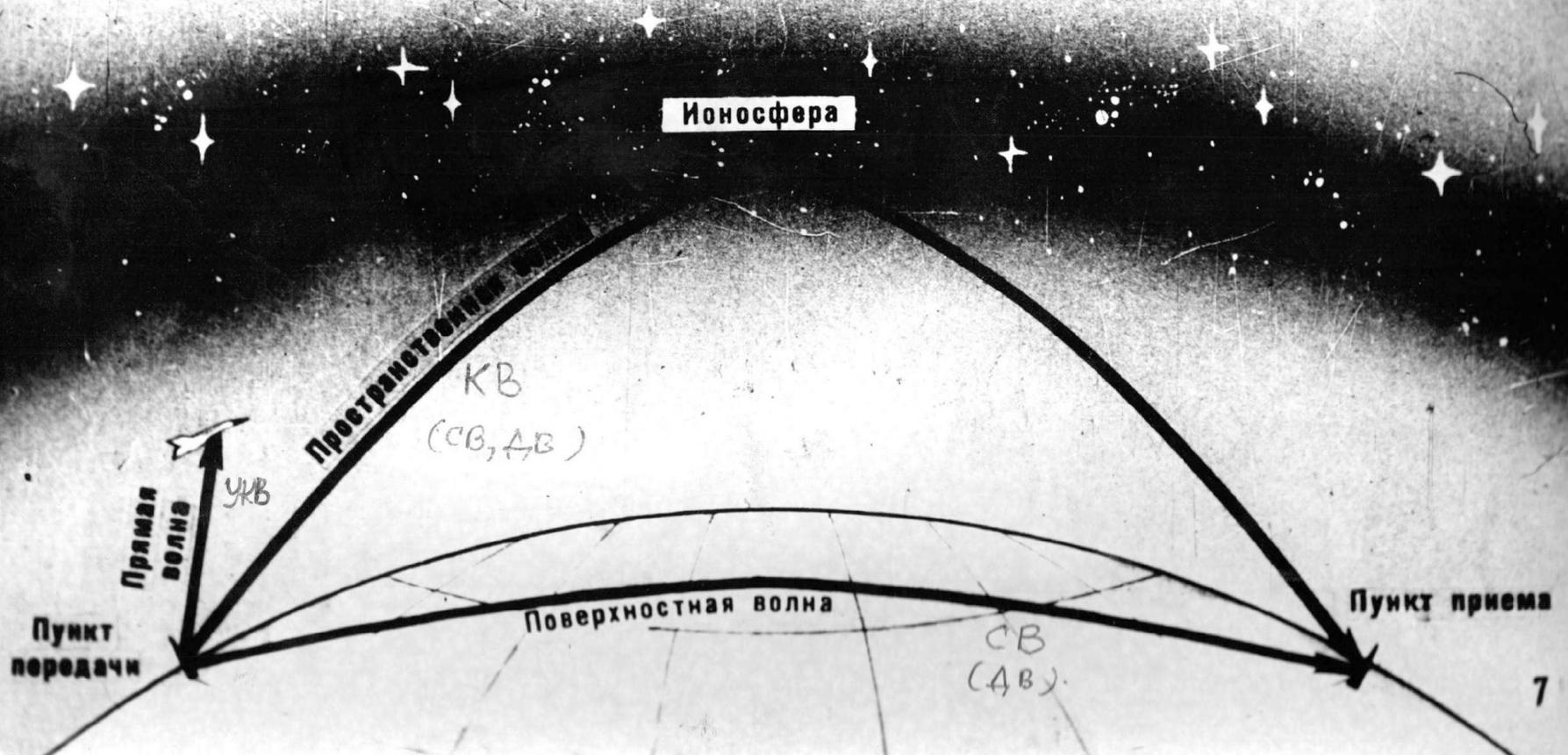


- Явление интерференции сонаправленных волн широко используется при создании антенных систем с заданной формой диаграммы направленности. Именно интерференция позволяет создать узкую диаграмму направленности ФАР, состоящей из множества слабонаправленных излучателей.
- Другой важный случай интерференции - сложение двух волн, распространяющихся в противоположных направлениях (например, прямой и отражённой). В этом случае получаются стоячие волны - характерное для интерференции распределение амплитуд с чередующимися максимумами и минимумами вдоль оси распространения волн остаётся неподвижным в пространстве (или перемещается столь медленно, что за время, необходимое для наблюдений, максимумы и минимумы не успевают сместиться на величину, сравнимую с расстоянием между ними).
- Стоячие волны используются в объемных резонаторах.
- В волноводных трактах и в антенных системах стоячие волны - негативный фактор, для минимизации которого все элементы волноводов и антенн должны быть согласованы между собой по величине волнового сопротивления. В случае рассогласования между элементами тракта, ЭМВ будет частично отражаться от места их соединения и в волноводе возникнет стоячая волна.



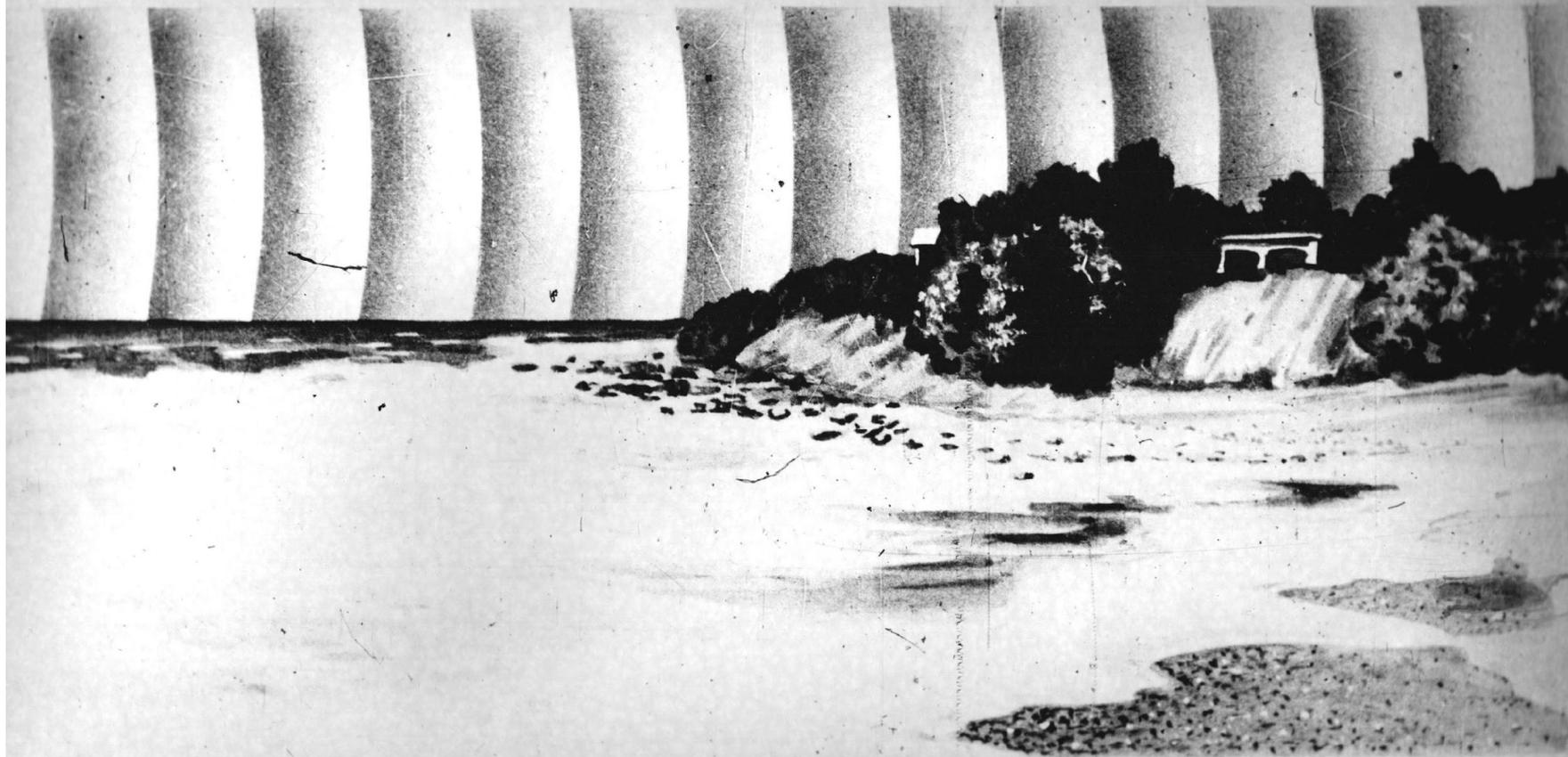


Таким образом, по условиям распространения, радиоволны могут быть прямыми (свободно распространяющимися), поверхностными (земными) и пространственными (ионосферными).



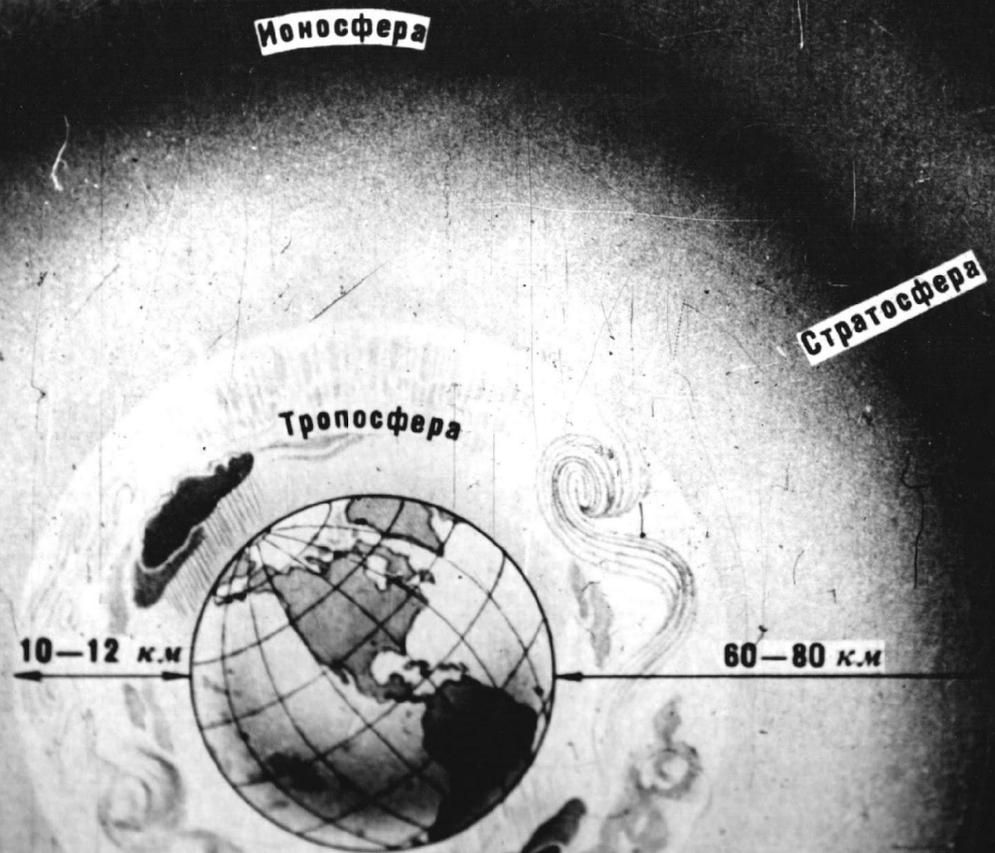
Поверхностные волны распространяются вблизи поверхности Земли.

Дальность распространения зависит от свойств поверхности (проводимости почвы, рельефа) и не превышает 2000 км.



Над морем затухание поверхностных волн меньше, чем над сушей.

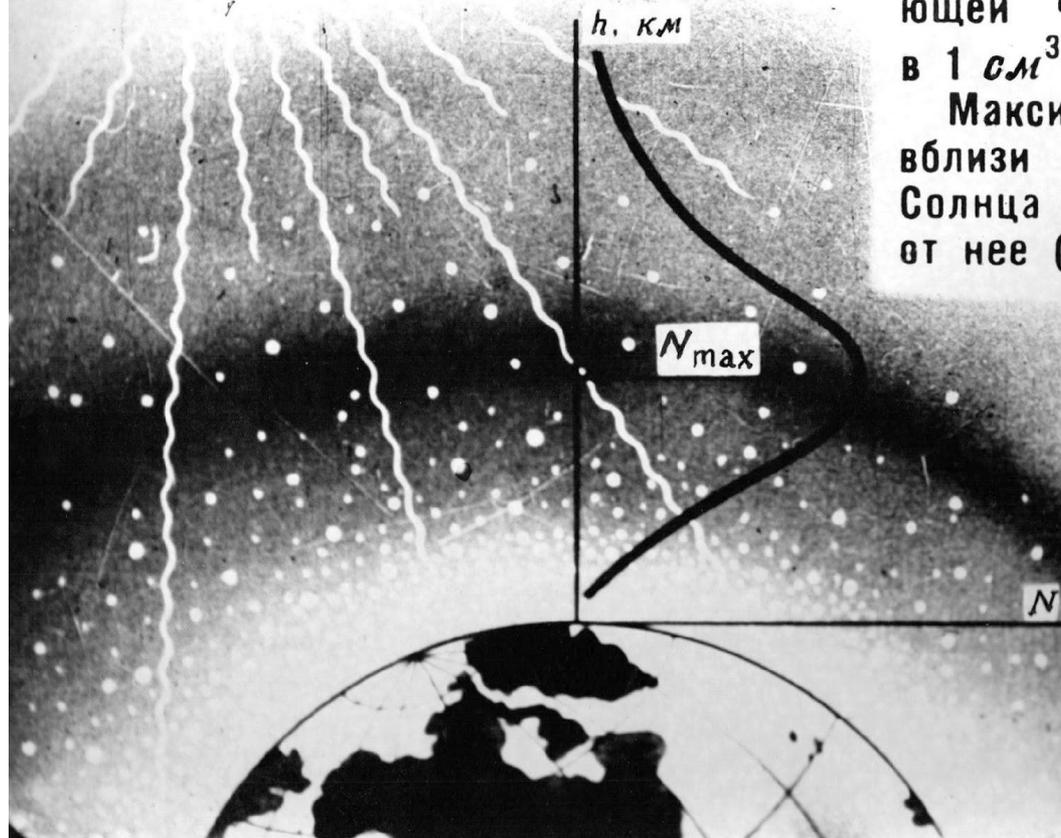
В настоящее время дальняя радиосвязь осуществляется в основном за счет использования пространственных волн, условия распространения которых определяются свойствами ионосферы.

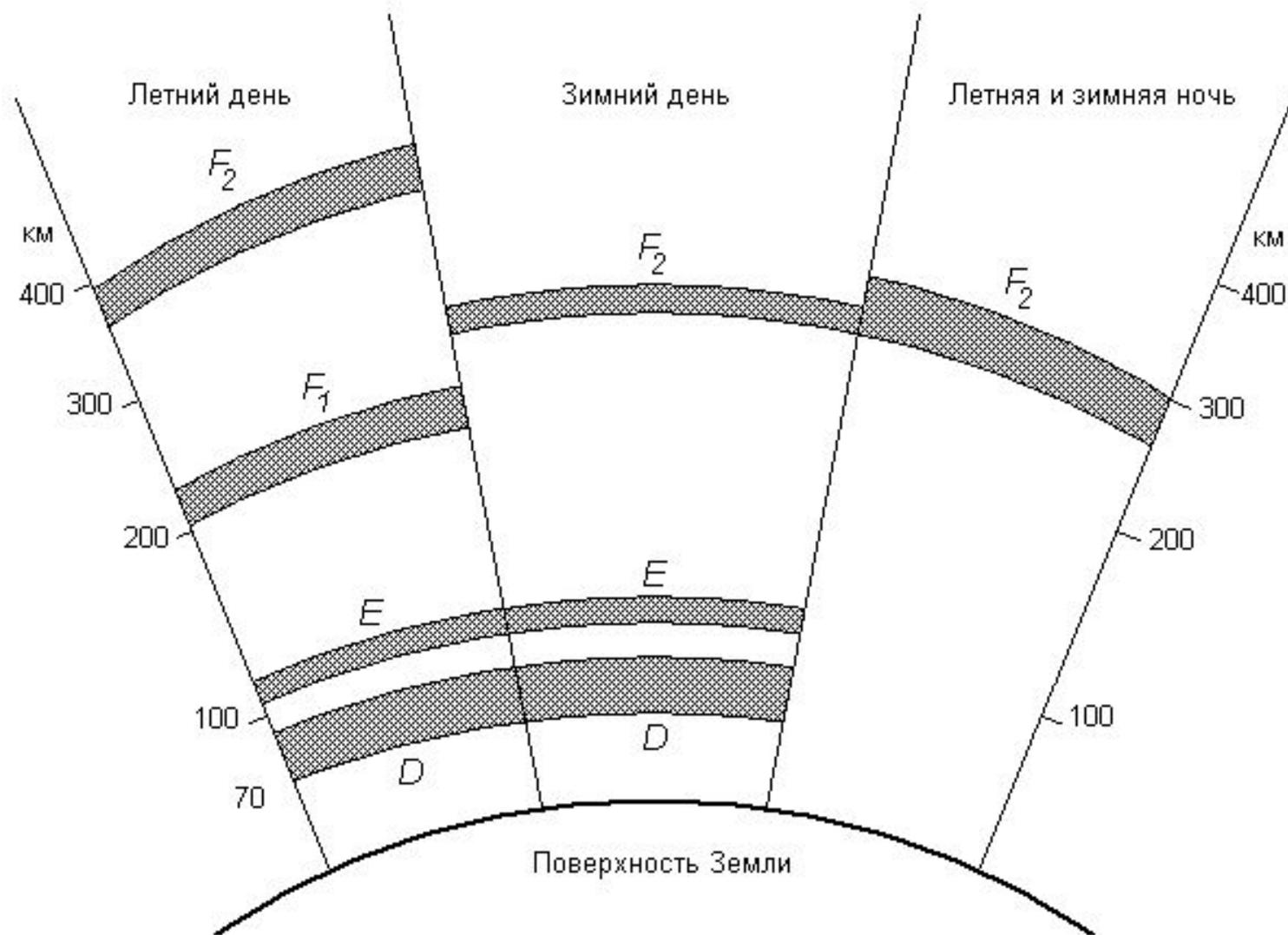


Название „ионосфера“ связано с тем, что под действием излучения Солнца атмосфера в этой области ионизирована, т. е. многие нейтральные молекулы воздуха расщеплены на свободные электронные ионы.

Степень ионизации оценивается электронной концентрацией (N), показывающей число свободных электронов в 1 см^3 .

Максимум N не может находиться как вблизи поверхности Земли (излучение Солнца ослаблено), так и очень далеко от нее (плотность воздуха мала).



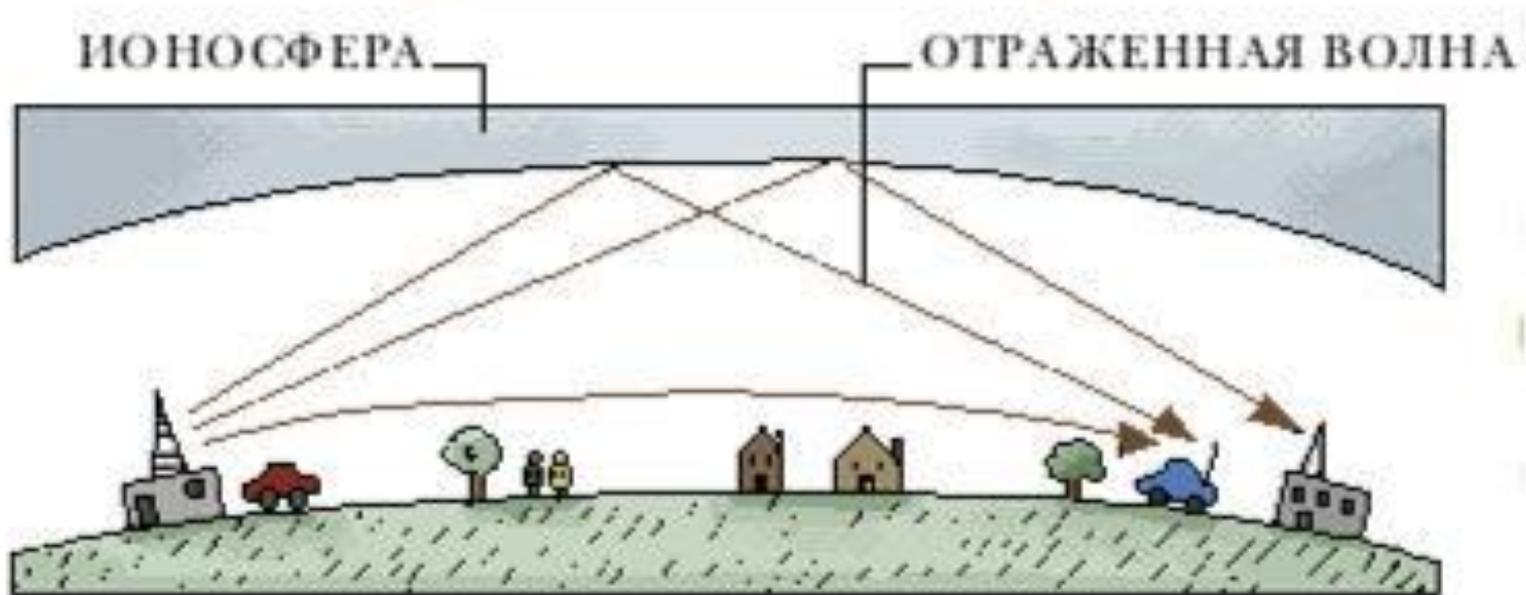


- **Длинные волны.** Волны этого диапазона называются длинными, поскольку их низкой частоте соответствует большая длина волны. Они могут распространяться на тысячи километров, так как способны огибать земную поверхность. Поэтому многие международные радиостанции вещают на длинных волнах.



- **Средние волны** распространяются не на очень большие расстояния, поскольку могут отражаться только от ионосферы (одного из слоев атмосферы Земли). Передачи на средних волнах лучше принимают ночью, когда повышается отражательная способность ионосферного слоя.

СРЕДНИЕ ВОЛНЫ

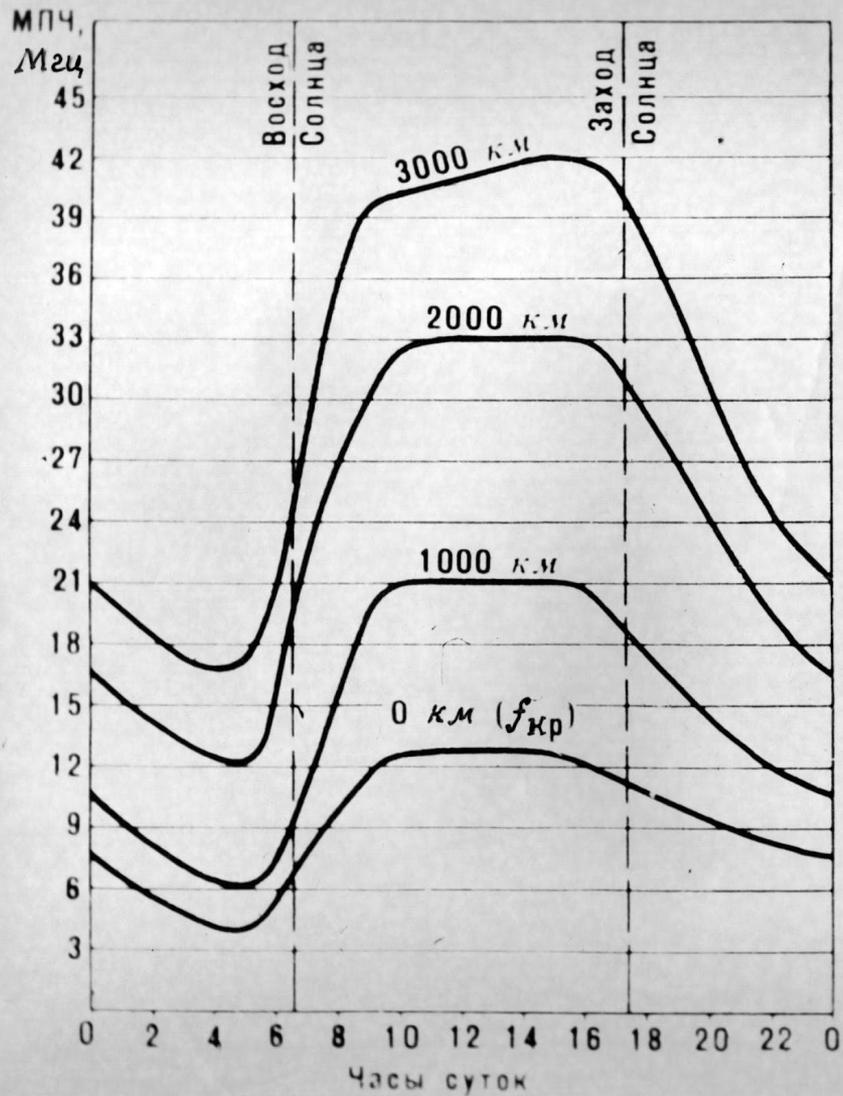


- **Короткие волны** многократно отражаются от поверхности Земли и от ионосферы, благодаря чему распространяются на очень большие расстояния. Передачи радиостанции, работающей на коротких волнах, можно принимать на другой

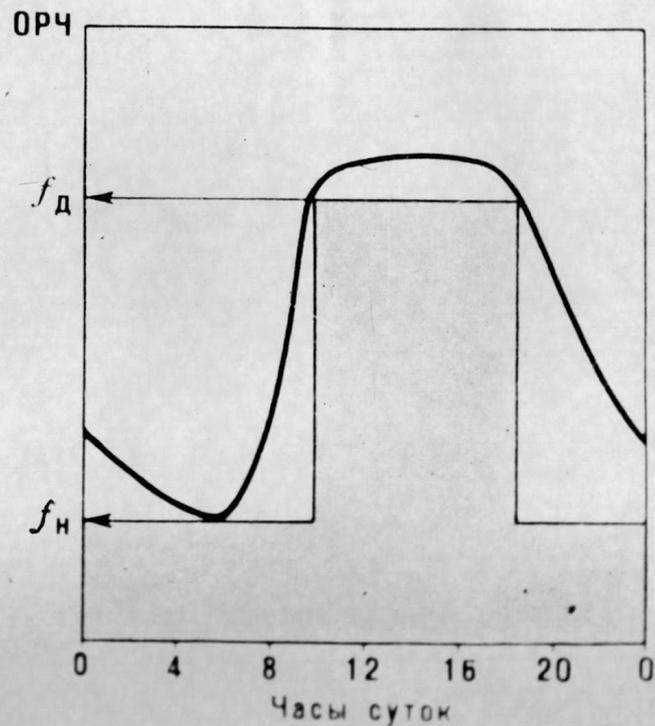
КОРОТКИЕ ВОЛНЫ



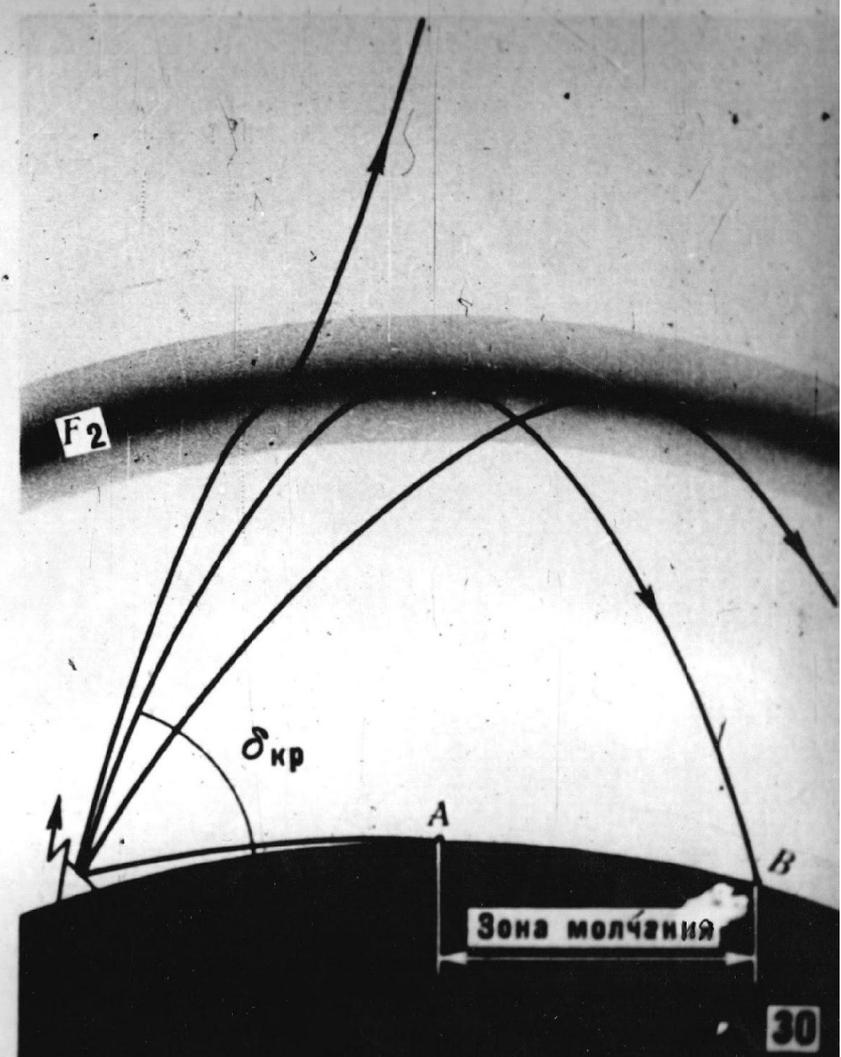
Выбор частот КВ-связи производится по графикам максимально применимых частот (МПЧ), составленным на основе работы сети ионосферных станций.



Оптимальные рабочие частоты (ОРЧ) определяются для заданной протяженности трассы и обычно выбираются на 15% меньше МПЧ.

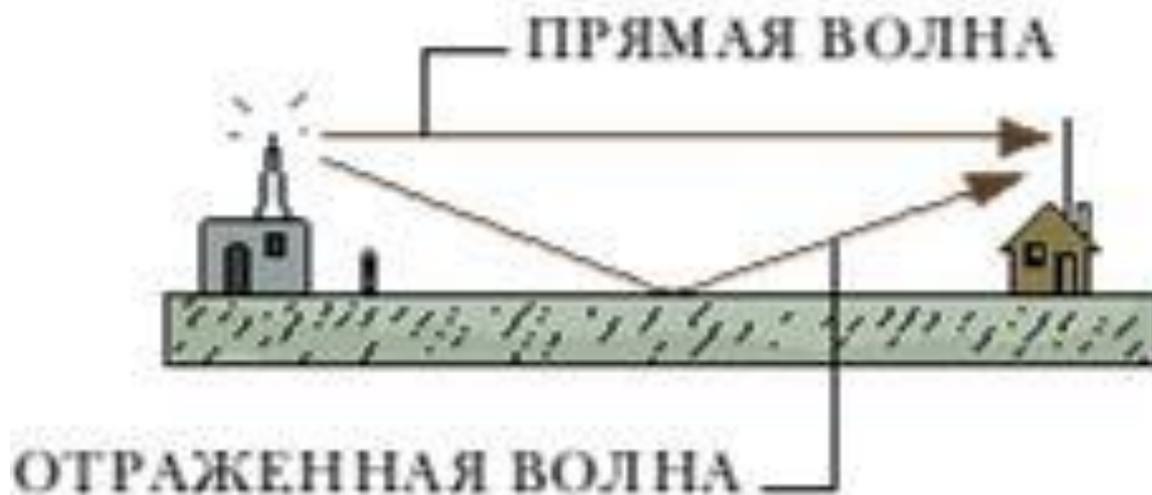


Характерной особенностью КВ является наличие зоны молчания.
В ночное время зона молчания расширяется в 3—4 раза.



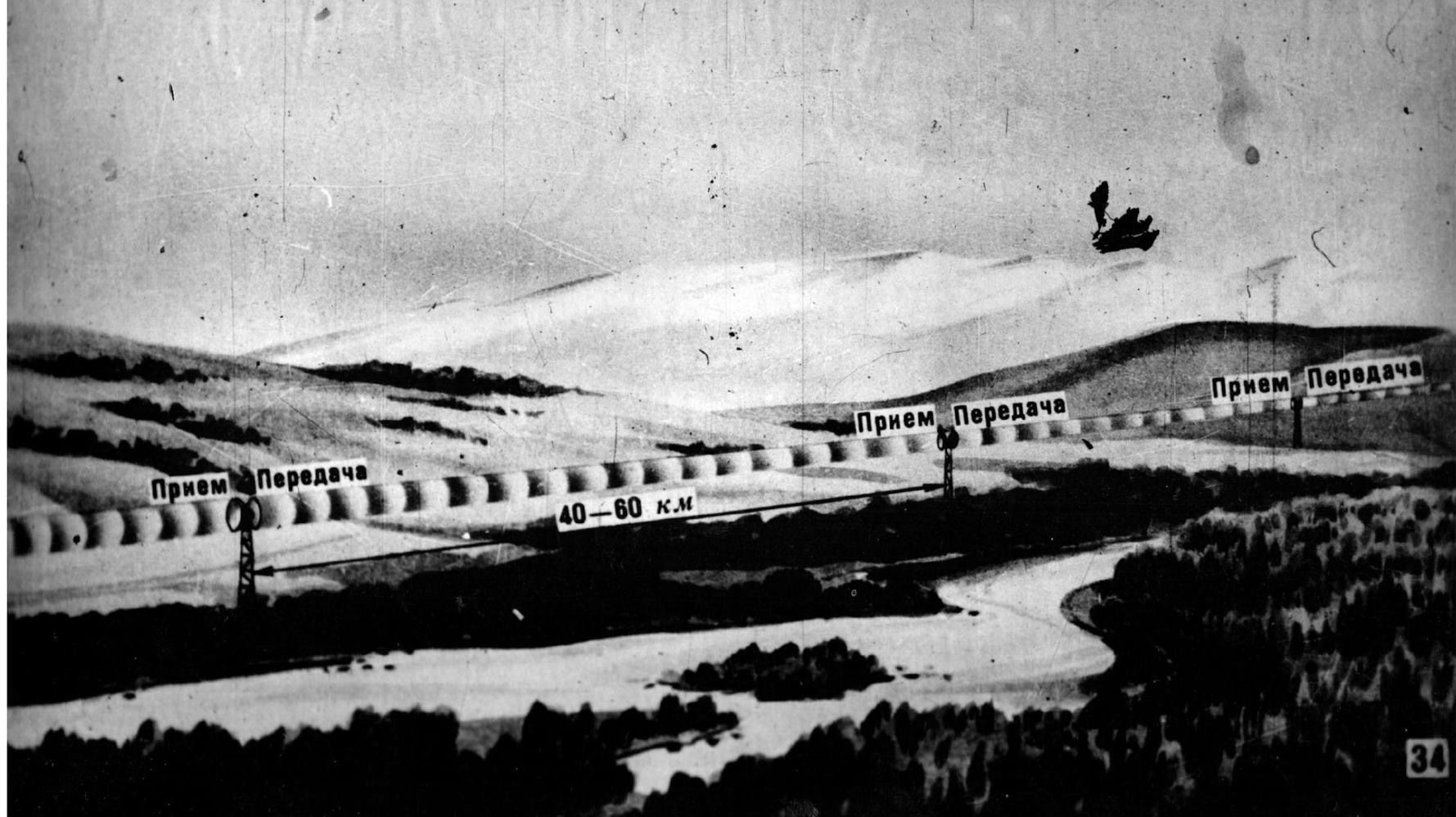
- **Ультракороткие волны (УКВ)** могут отражаться только, от поверхности Земли и потому пригодны для вещания лишь на очень малые расстояния. На волнах УКВ-диапазона часто передают стереозвук, так как на них слабее помехи.

УЛЬТРАКОРОТКИЕ ВОЛНЫ



Дальность связи на УКВ можно увеличить с помощью кабельных или радиорелейных линий.

Однако строительство таких линий, особенно для отдаленных и труднодоступных районов, сложно.



Особенности распространения радиоволн различных диапазонов:

диапазонов:

1) диапазоны очень низких (ОНЧ) и низких частот (НЧ):

- -распространение поверхностными, и пространственными волнами;
- -отражение от слоя D днём и от слоя E ночью;
- -слабая зависимость от сезона, времени суток, солнечной активности;
- -высокий уровень атмосферных и индустриальных помех;
- -для связи на большие расстояния требуются мощные передатчики;

2) диапазон средних частот (СЧ):

- -в дневное время характеризуется сильным поглощением пространственных волн слоями D и E, дальность распространения поверхностными волнами не превышает 1000 км;
- -в ночное время слой D исчезает, распространение пространственными и поверхностными волнами, дальность возрастает до 3000 км;
- -зимой условия распространения лучше, чем летом;

Особенности распространения радиоволн различных

диапазонов:

3) диапазон высоких частот (ВЧ):

- -распространение поверхностными и пространственными волнами;
- -сильное затухание поверхностных волн из-за потерь в почве;
- -отражение (многократное) от верхних слоёв F_1 и F_2 ионосферы;
- -возможно установление надёжной радиосвязи на большие расстояния при небольшой мощности передатчиков;
- -наличие зон молчания («мёртвых зон»);
- -эффект замирания сигналов (фединги) из-за многолучёвости распространения радиоволн;
- -меньший уровень атмосферных и промышленных помех;

4) диапазон очень высоких частот (ОВЧ):

- -прямолинейное распространение радиоволн (в пределах прямой видимости), дальность ограничивается кривизной земной поверхности;
- -отражение от земной поверхности и слабая дифракция;
- -пронизывание ионосферы (не отражаясь, уходят в космос);
- -надёжная связь в условиях ионосферных возмущений;
- -малый уровень атмосферных и промышленных помех;
- -возможна дальняя радиосвязь за счёт рефракции и тропосферного рассеяния на её неоднородностях;

Особенности распространения радиоволн различных диапазонов:

диапазонов:

5) диапазоны ультравысоких (УВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ):

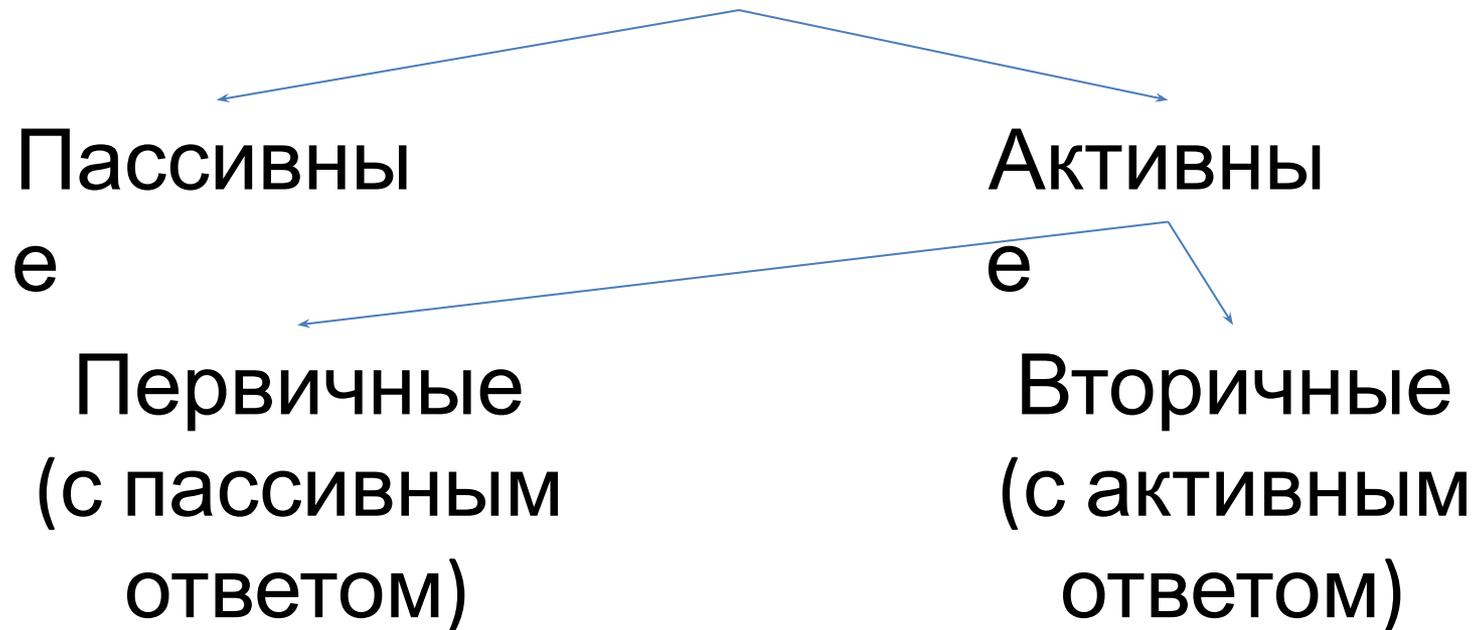
- -распространение прямолинейное (в пределах прямой видимости);
- -повышенное поглощение энергии в тропосфере и различных гидрометеорах при длине волны менее 10 см;
- -возможность использования остронаправленных антенн при сравнительно малых размерах;
- - практически полное отсутствие промышленных и атмосферных помех. Следует подчеркнуть относительно большую ширину диапазонов ОВЧ, УВЧ и СВЧ, что даёт возможность одновременного функционирования радиоэлектронных средств ГА различного назначения без взаимных помех.

Параметры и характеристики РТС

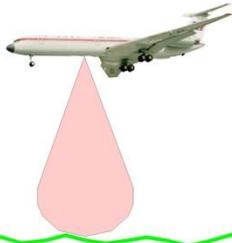
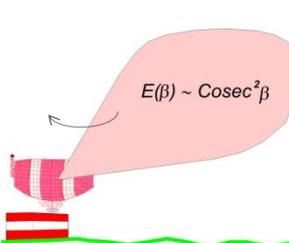
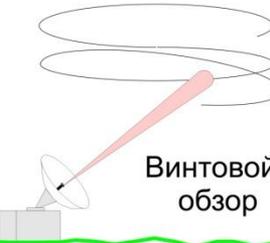
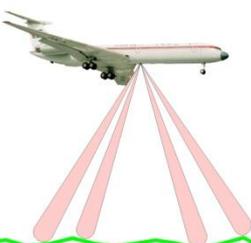
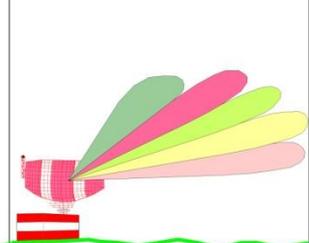
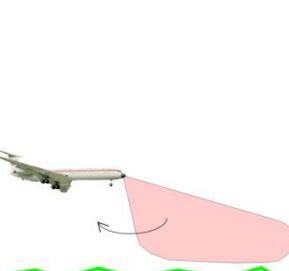
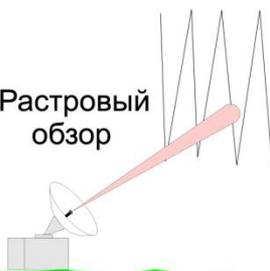
- Назначение
- Точность
- Разрешающая способность
- Дальность действия
- Помехоустойчивость
- Диапазон частот
- Электромагнитная совместимость
- ...

Классификация РЛС

- По принципу взаимодействия с целью:



Виды обзора пространства в радиолокационных и радионавигационных системах

I. Однолучевые			II. Многолучевые		
а)	б)	в)	а)	б)	в)
<p>Мгновенный обзор сразу в двух плоскостях.</p>	<p>Мгновенный обзор в одной и сканирование в другой плоскости.</p>	<p>Сканирование сразу в двух плоскостях узким лучём.</p>	<p>Мгновенный обзор сразу в двух плоскостях.</p>	<p>Мгновенный обзор в одной и сканирование в другой плоскости.</p>	<p>Сканирование сразу в двух плоскостях узкими лучами</p>
<p>Возможно измерение только дальности R, например, в самолётных радиовысотомерах - РВ</p>	<p>Панорамный обзор в ОРЛ-А, ОРЛ-Т и в бортовых МНРЛС</p>	<p>Бортовые и наземные метеорологические РЛС - МРЛ</p>	<p>Бортовые доплеровские измерители скорости и угла сноса ВС - ДИСС</p>	<p>Панорамный многолучевой обзор в ОРЛ-Т (П-37, "Меч", 1РЛ-139, 1л 118, "Лира")</p>	<p>Фазированные антенные решётки - ФАР. В РТС УВД не применяются</p>
		 <p style="text-align: center;">Винтовой обзор</p>			<p style="font-size: 2em;">—</p>
		 <p style="text-align: center;">Растровый обзор</p>	$T_{обз} = K_{обз} \cdot T_{обл} \cdot \frac{\Phi_{\alpha} \cdot \Phi_{\beta}}{\Theta_{\alpha} \cdot \Theta_{\beta}}$ <p>Φ - зона обзора РЛС ; Θ - ширина диаграммы направленности антенны РЛС</p>		