



Д-1105-1: Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства

Тема 1. Распространение радиоволн на наземных и спутниковых радиопалиниях

Лекция 1/7 (№7).

Распространение радиоволн на спутниковых радиопалиниях



Учебные вопросы:

- 1. Особенности радиотрасс на спутниковых радиолиниях.**
- 2. Потери электромагнитной энергии в тракте распространения радиоволн.**
- 3. Методика расчёта энергетических параметров спутниковых радиолиний.**



1. Особенности радиотрасс на спутниковых радиоперелиниях

№2

Космическая связь - радиосвязь, в которой используется одна или несколько космических радиостанций либо один или несколько спутников.

Спутниковая радиосвязь — космическая связь между земными радиостанциями посредством ретрансляции радиосигналов через один или несколько искусственных спутников Земли (ИСЗ).

Ретранслятор связи — аппаратный комплекс, смонтированный на борту ИСЗ и предназначенный для ретрансляции радиосигналов земной станции (ЗС).

Зона обслуживания ИСЗ — это часть земной поверхности, на которой достигается заданное значение плотности потока излучаемой ретранслятором мощности и обеспечиваются необходимые защитные условия по уровню взаимных помех по отношению к другим радиосистемам.



1. Особенности радиотрасс на спутниковых радиолиниях

№3

- 1. Большая дальность связи.**
- 2. Обеспечение возможности работы через один ретранслятор большому числу земных станций, в том числе территориально разнесенных на значительные расстояния.**
- 3. Излучение ЭМВ в спутниковой радиолинии под большим углом возвышения, что практически исключает влияние поверхности земли на прохождение сигналов.**
- 4. Высокие требования к энергетике спутниковых радиолиний из-за большой их протяженности (десятки тысяч километров).**
- 5. Запаздывание передаваемого сигнала.**
- 6. Доступность спутников-ретрансляторов радиоэлектронному противодействию.**
- 7. Периодический уход спутника из зоны радиовидимости земной станции.**
- 8. Необходимость постоянного слежения антенн ЗС за положением спутника.**
- 9. Доплеровский сдвиг частоты сигнала в радиолинии.**



Большая дальность связи

Орбиты спутников

Эллиптическая орбита (высшая точка – апогей – около 40 000 км, низшая – перигей – около 2 000 км). Спутники, находящиеся на эллиптических орбитах, способны передавать сигналы в полярные регионы планеты.

Геостационарная орбита. На такой орбите спутник неизменно находится над определенной точкой поверхности Земли. Она пролегает на высоте 35 900 км. Система из трех геостационарных спутников охватывает практически всю земную поверхность.

Низкая полярная орбита (высота от 700 до 1 500 км). На такой орбите находятся главным образом научные спутники дистанционного зондирования земной поверхности и наблюдения за окружающей средой. По мере вращения Земли они могут следить за всей ее территорией.

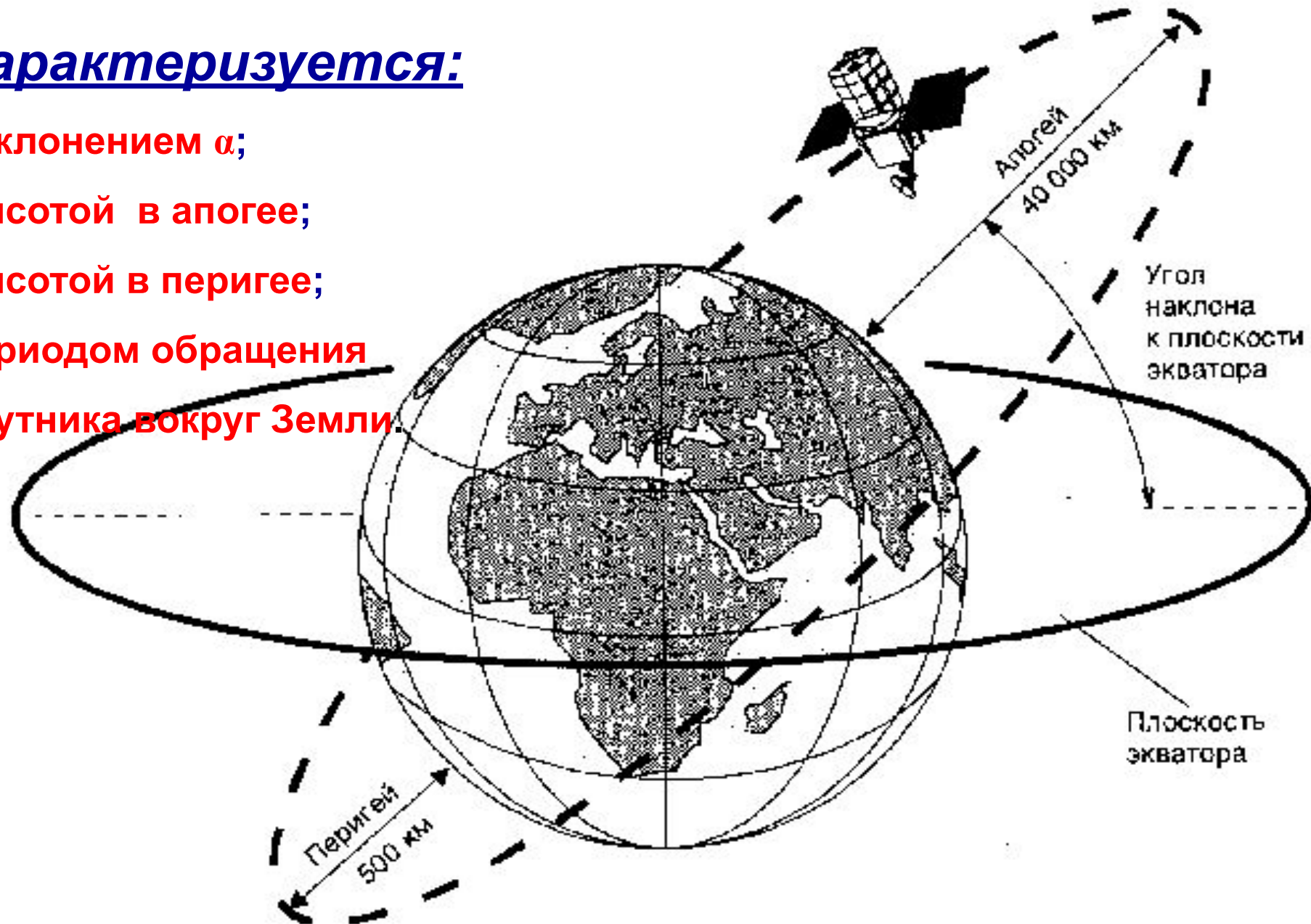
Низкая околоземная орбита. Каждый спутник на данной орбите находится в «зоне видимости» лишь 15–20 минут, и чтобы охватить всю поверхность Земли, в космосе одновременно должны находиться несколько десятков таких спутников.



Эллиптическая стационарная орбита

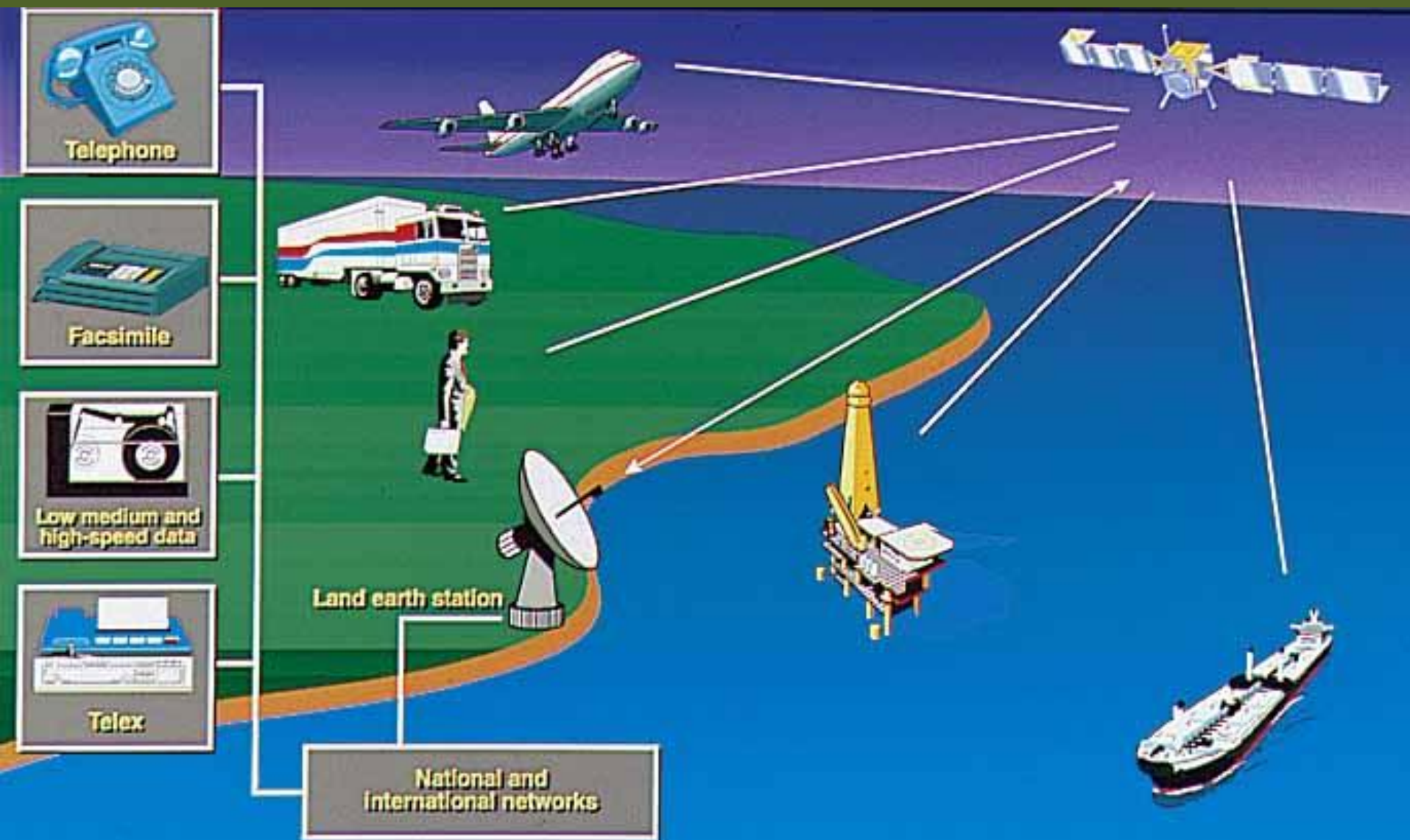
Характеризуется:

- наклоением α ;
- высотой в апогее;
- высотой в перигее;
- периодом обращения спутника вокруг Земли.





Многостанционный доступ

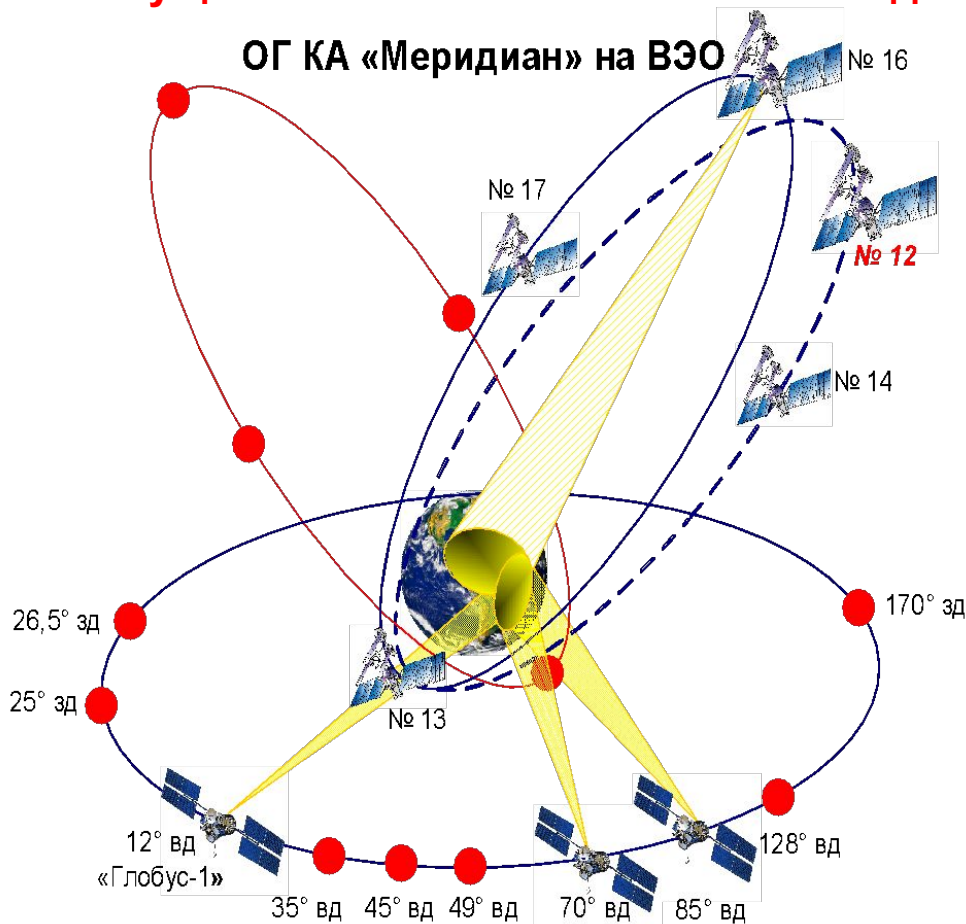




Состав орбитальной группировки системы

Текущее состояние ЕССС- 2 на 2016 год

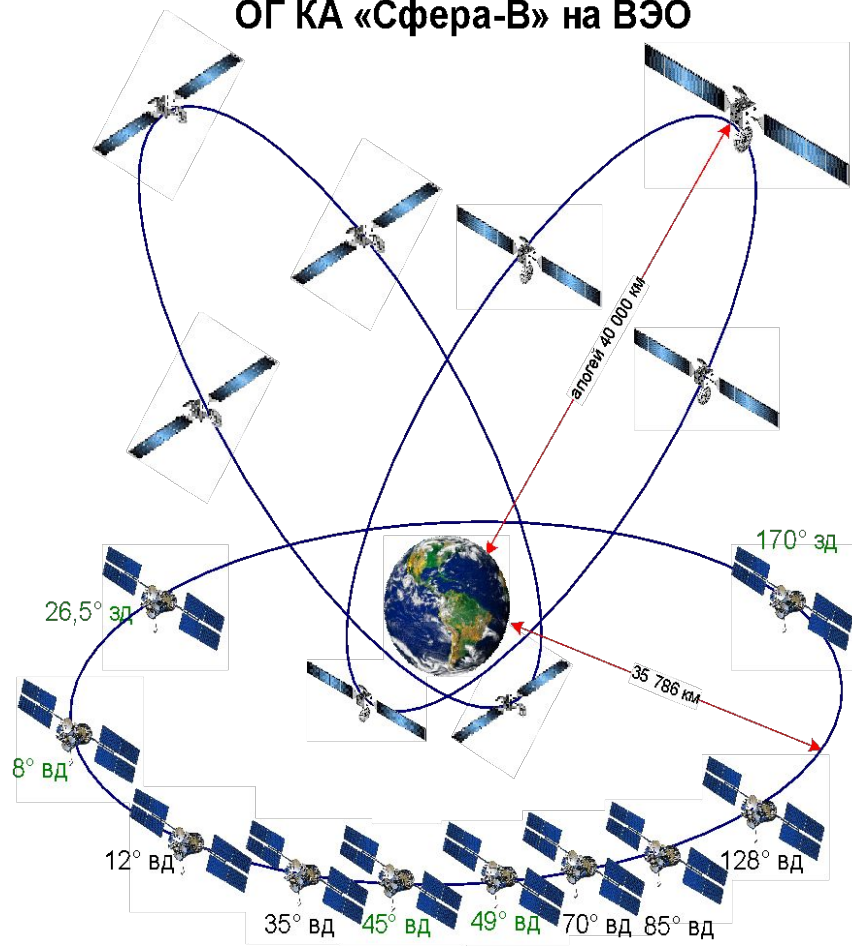
ОГ КА «Меридиан» на ВЭО



Орбитальные позиции
КА «Глобус-1» и «Глобус-1М» на ГСО

Перспективная группировка ЕССС-3 с 2020 года

ОГ КА «Сфера-В» на ВЭО

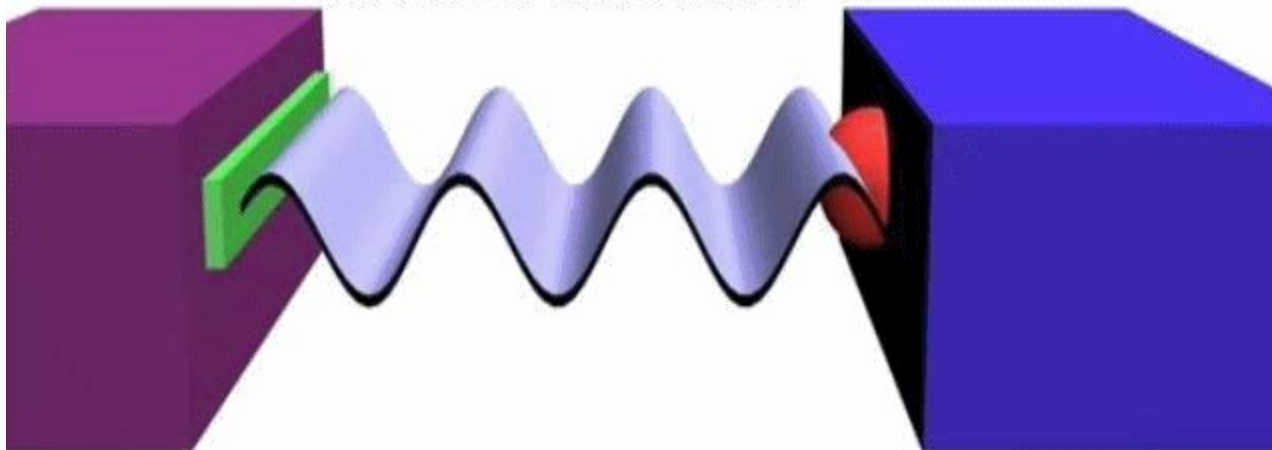


Орбитальные позиции ОГ КА «Сфера-С» на ГСО



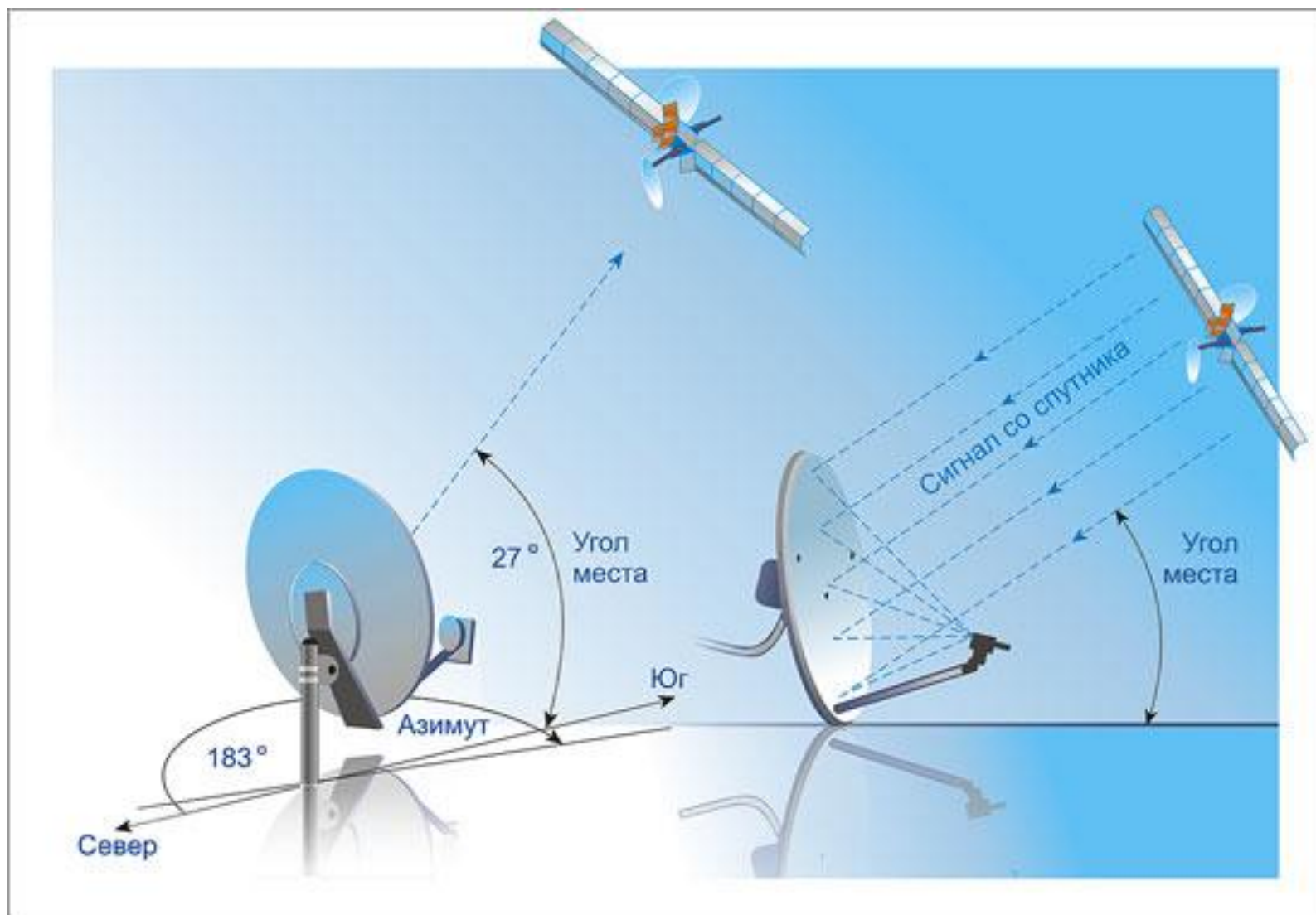
Эффект Доплера

*Эффект Доплера в теории ММГД
(источник волн покоится - приёмник движется).
SmiValBor 01.12.2014 г.*





Угол места





2. Потери электромагнитной энергии в тракте распространения радиоволн

№4

В спутниковой связи атмосфера Земли является радиотрассой. Только на одном участке линии радиоволна распространяется в тропосфере, ионосфере и за ее пределами.

Влияние атмосферы на прохождение радиоволн проявляются в: 1)поглощении, 2) рефракции, 3) изменении поляризации, 4) частотных и фазовых искажениях, 5) увеличением уровня внешних помех.

$$\alpha \approx \mu \theta.$$

Поглощение зависит от проводимости среды:

1. Электрические параметры тропосферы: $n_T = \sqrt{\varepsilon'}$, $\sigma_T \approx 0$.

2. Электрические параметры ионосферы: $\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = 1 - 80,8 \frac{N_{\text{э}}}{f^2}$

$$\sigma = 7,16 \cdot 10^{-10} \frac{N_{\text{э}} v_{\text{э}}}{f^2}, \quad \frac{C_M}{M}$$



1. С увеличением частоты потери в ионосфере уменьшаются. Поэтому при работе на частотах свыше 100 МГц поглощение в ионосфере можно не учитывать.

2. Ослабление радиоволн в тропосфере, наоборот, с увеличением частоты средние значения потерь растут. Потери зависят от траектории основной волны, т.е. от угла возвышения относительно земной поверхности. При малых углах поглощение возрастает, так как длина пути волны в тропосфере растет.

Основное поглощение происходит в кислороде и парах воды. Резонанс молекулярного поглощения водяного пара на частоте 22,2 ГГц, а молекул кислорода на частотах порядка 60 ГГц.

В диапазоне до 10 ГГц, поглощение составляет менее 0,005 дБ/км, тогда как на частоте 22,2 ГГц коэффициент затухания 0,2...0,3 дБ/км.



К гидрометеорам относятся дождевые капли, град, снег, туман, облака. Наличие гидрометеоров на трассе распространения радиоволн значительно увеличивает поглощение энергии сигналов, что приводит к уменьшению их мощности в точке приема. Кроме того, меняется поляризация передаваемых сигналов.

Это явление называют деполяризацией сигнала.

Наибольшее влияние на ослабление сигналов оказывают гидрометеоры в жидкой фазе, в частности дождь, облака, туман. Такие ослабления существенны на частотах свыше 6...10 ГГц. Кроме ослабления сигнала при распространении в гидрометеорах происходит деполяризация. При этом наибольшим изменениям подвергается круговая поляризация сигналов, так как гидрометеоры являются несферичными переизлучателями первоначального сигнала.

Кроссполяризационная (вредная паразитная) компонента сигнала при круговой поляризации составляет – 10 дБ, а при линейной она равна – 35 дБ относительно основной компоненты. Поэтому свыше 6...10 ГГц лучше применять линейную поляризацию ЭМ поля.



Поляризационные потери

№7

С учетом магнитного поля Земли ионосфера является **анизотропной средой**. Радиоволна расщепляется на две компоненты – **обыкновенную** и **необыкновенную**. Поляризация суммарной волны будет отличаться от поляризации волны до входа в ионосферу.

Этот поворот поляризации в большей степени свойственен линейной поляризации. При чисто круговой поляризации волны изменения поляризации **не проявляется**. Поэтому чаще применяют **круговую поляризацию**.

Изменение поляризации поля в анизотропных средах называют **эффектом Фарадея**.

Эффект Фарадея с увеличением частоты проявляется в меньшей степени и при $f \geq 10$ ГГц его можно не учитывать. **Применяют линейную**.



Рефракционные потери

№8

Рефракция радиоволн обусловлена плавным (линейным) изменением коэффициента преломления тропосферы и ионосферы. Рефракция приводит к изменению угла прихода радиоволн относительно истинного направления.

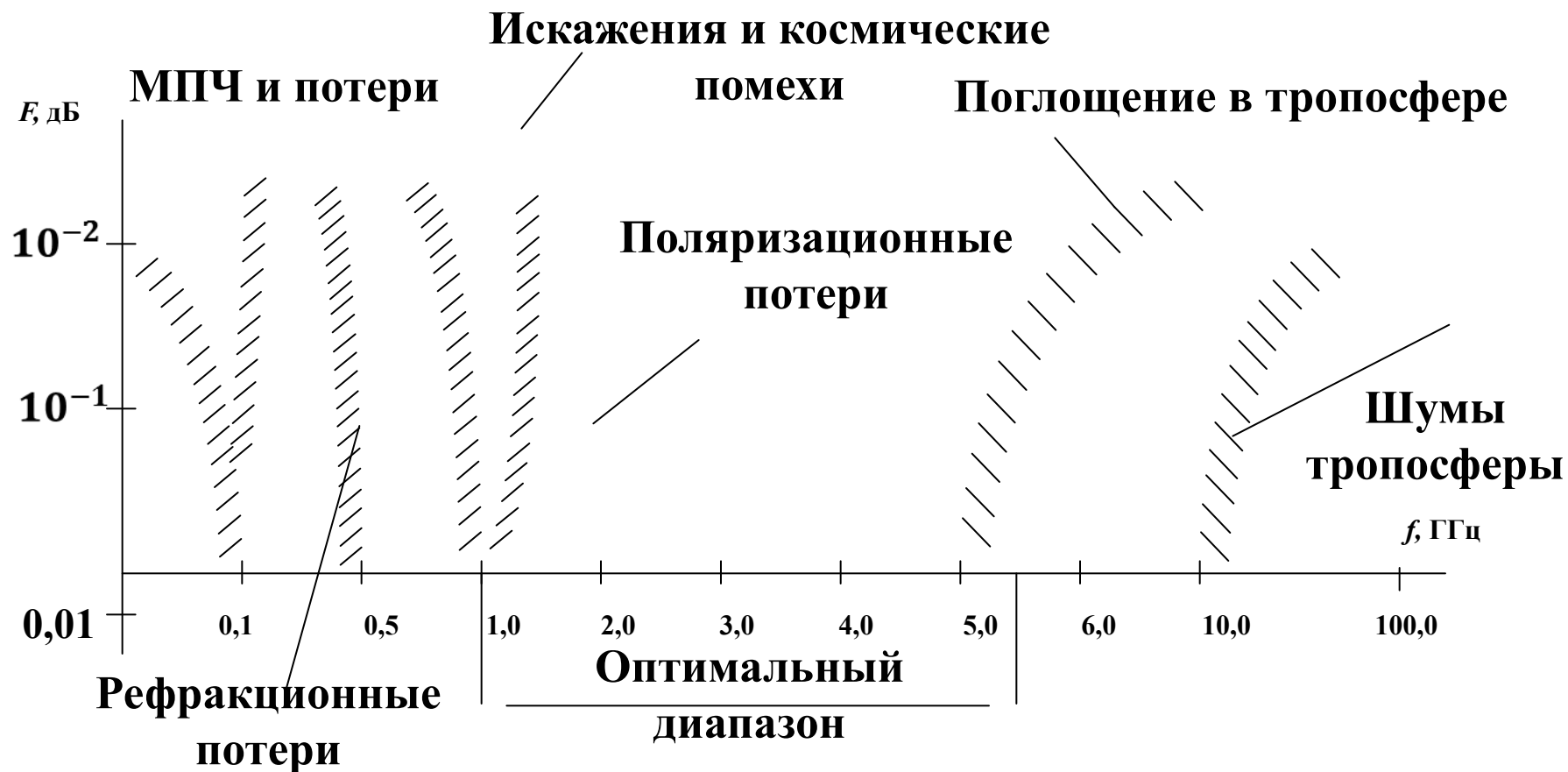
Рефракция на линиях спутниковой связи приводит к ошибкам в программных методах наведения антенн на РС. При автоматических методах поиска возрастает время поиска РС. Возникают также потери усиления антенн, ориентированных на истинное положение спутника.

Рефракционные ошибки в ионосфере пропорциональны $1/f^2$, поэтому на $f > 200$ МГц основной вклад в рефракцию вносит тропосфера.



Выбор оптимального диапазона частот для спутниковой связи

№9



Исследования показали, что минимальные потери на радиолиниях ЗС – РС – РС – ЗС в диапазоне от **1...2 до 6 ГГц.**, поэтому первый диапазон частот **4/6 ГГц.**, далее **7/8 ГГц** и т. д.



Энергетический расчет спутниковой радиолинии



$$P_{\Phi} = P_{11} + \Delta B_{12} + G_{\Phi 2} + G_{\text{пол}} + \eta + \xi + W_{\text{тр}} + W, \quad ,$$



3. Методика расчёта энергетических параметров спутниковых радиолиний

№10

Расчет линии спутниковой связи производится как на этапе проектирования системы, так и в процессе эксплуатации.

Целью энергетического расчета, производимого на этапе эксплуатации, является.

определение возможностей обеспечения связи в функционирующей системе спутниковой связи с имеющимся комплектом аппаратуры и оценка **качества СВЯЗИ.**

$$W = W_0 + W_{\text{тр}}$$

$$W_{\text{тр}} = W_{\text{троп}} + W_{\text{реф}} + W_{\text{пол}}, \quad W_0 = \frac{\lambda}{4\pi r}$$

На реальных трассах среднее значение множителя ослабления:

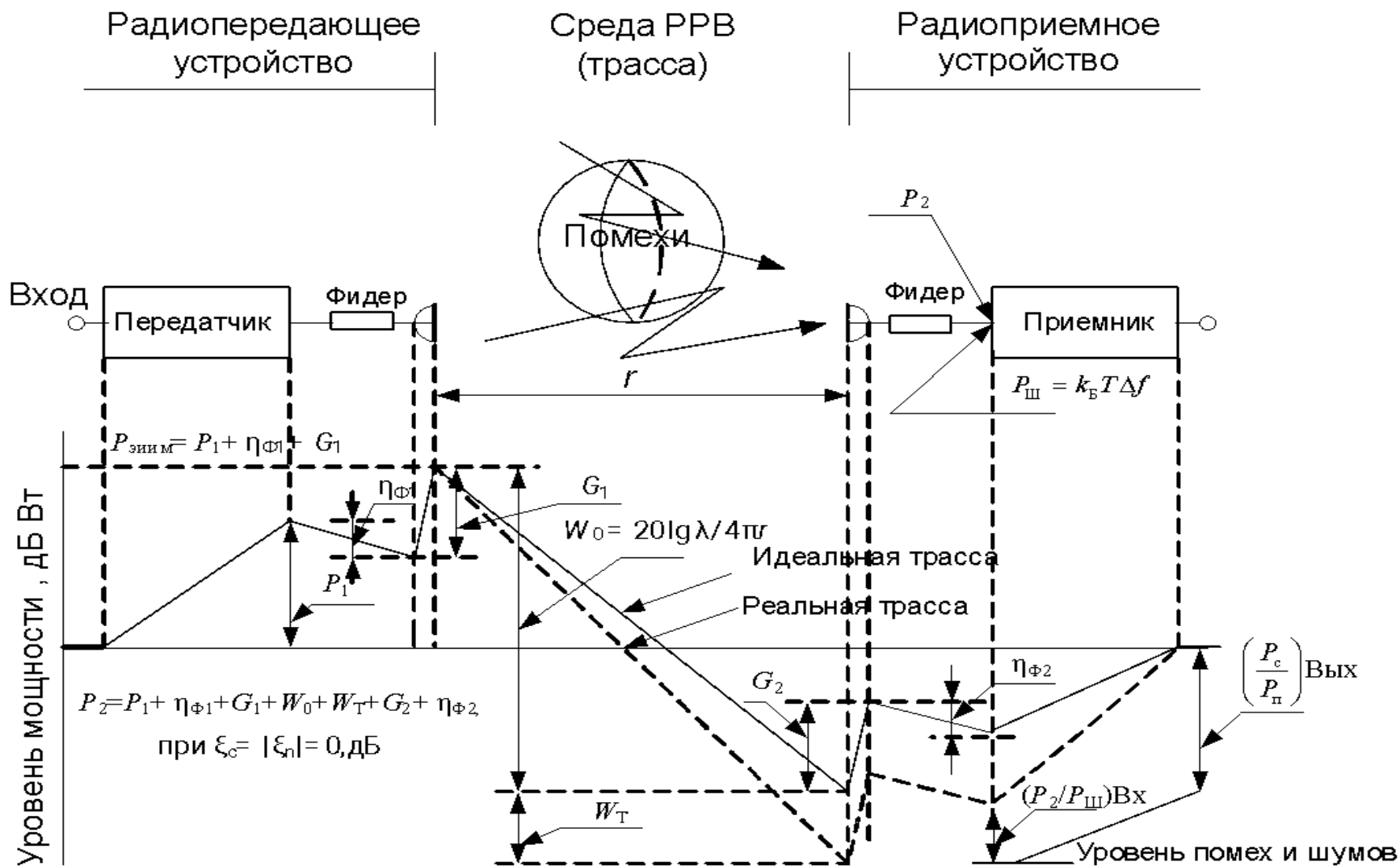
$$W_{\text{тр}} \approx -10 \dots -15.$$

С учетом быстрых замираний: $W_{\text{тр}}(t) \approx -20 \dots -30.$



Энергетический уровень сигнала на радиолинии

№11





Алгоритм расчета энергетических параметров радиолинии

№12

При расчете радиолиний исходят из
1) условия радиосвязи и 2) уравнения радиопередачи.

$$P_c = P_{\text{в}} \geq P_0 = h^2 (P_{\text{п}} + P_{\text{ш}}), \quad h_{\text{п ш}}^2 = P_c / P_{\text{п}}.$$

$$P_{\text{ф}} = P_{11} + \text{дБ}_2 + G_{\text{ф2}} + G_{\text{пол}} \eta + \xi + W_{\text{тр}} + W,$$

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right) = -[33 + 20 \lg r + 20 \lg f],$$

$$W_{\text{ТР}} = W_{\text{ТРОП}} + W_{\text{РЕФ}} + W_{\text{ПОЛ}}.$$



1) Мощность помех:

$$P_{\Pi+\text{ш}} = k_{\text{Б}} T_{\text{ш}} \Delta f_{\text{ш}},$$

$$P_{\Pi+\text{ш}} = -174,6 + 10 \lg T_{\text{ш}} + 10 \lg \Delta f_{\text{ш}},$$

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{прм}} + T_0 (1 + \eta_{\text{ф}} + \eta_{\text{А}} + \eta_{\text{АФУ}} + K)$$

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{КОСМ}} + T_{\text{АТМПРОМ}} + T_{\text{АТМЗЕМ}} + T_{\text{ЗЕМЛИ}} + T_{\text{ДРУГОЕ}} + \dots$$

2) Мощность сигнала, из уравнения радиопередачи

или:

$$E_m(f) \Rightarrow \frac{\sqrt{60 P_{\text{ф}} G_1}}{r} W_{\text{тр}}; \quad r = \sqrt{\frac{P_{\text{ф}} G_1 \eta_1}{4 \pi} W_{\text{тр}}^2}$$



ВЫВОДЫ

№14

Реально суммарная шумовая температура T_{Σ} ЗССС составляет в пределах 400...600 К (Кельвина). Эффективная шумовая температура на входе приемника РС больше, так на бортовую антенну дополнительно влияют шумы Земли.

После расчета суммарной мощности помех проверяется требования (h_0) к линии спутниковой связи. При снижении допустимого отношения P_c / P_p на входе приемного тракта, необходимо принять меры увеличения энергетического потенциала радиолинии.



Радиоволны сантиметровых, миллиметровых и децимиллиметровых (субмиллиметровых) занимают частоты до 3000 ГГц. Иногда эти частоты называют сверхвысокими (СВЧ).

$$\lambda_{\text{свч}} = 10,1 \text{ мм}$$

$$f = 3000 \text{ ГГц}$$

По основному механизму распространения волны этих диапазонов примерно одинаковы. Прежде всего это проявляется в возможности их использования в зоне прямой видимости.

Вместе с тем сантиметровые волны примерно до 8 ГГц могут распространяться в виде тропосферных волн за счет механизма ДТР. С повышением частоты механизм ДТР малоэффективен.

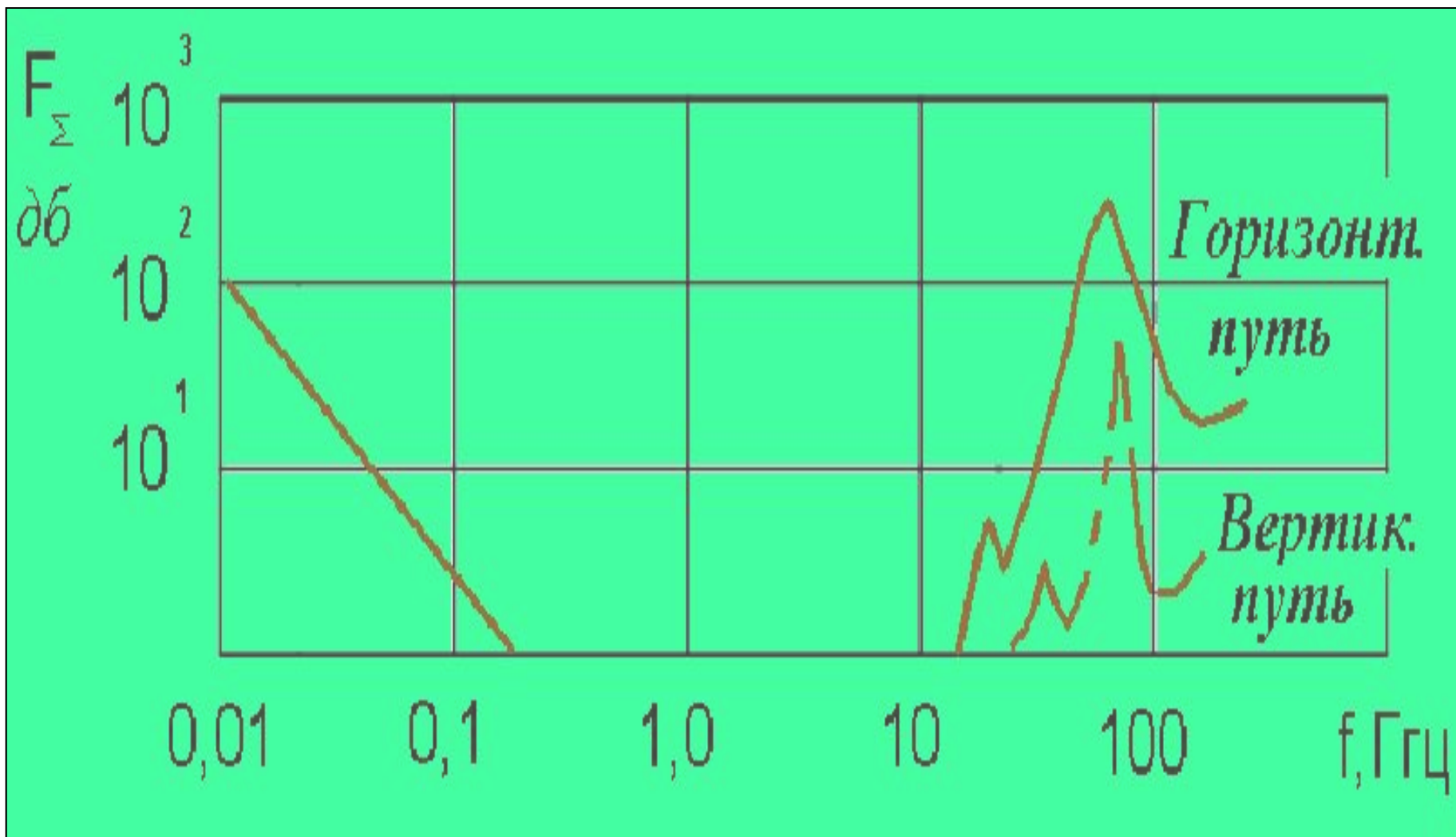
На наземных трассах:

$$E_{\text{д}} = (0,25 \dots 0,4) \frac{180 \sqrt{P_{\text{ф}}} G}{\lambda r^2} h_1 h_2 \quad \text{мкВ/м}$$



Оптимальный диапазон частот

№15



Строение современной атмосферы

