

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Осипенко Олег Павлович

студент, техник 1 категории
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский университет
«Московский институт
электронной техники»
г. Москва

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ГАЗОВ И ГИДРОМЕТЕОРОВ НА ЗАТУХАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СИГНАЛОВ РАЗНЫХ УКВ ДИАПАЗОНОВ

Аннотация: в статье сравниваются основные характеристики спутниковых сигналов двух разных диапазонов частот, а также влияние на них газов и гидрометеоров.

Ключевые слова: спутниковая связь, гидрометеоры, дождь, туман, радиолиния, сигнал, газы, затухание, ослабление, ультракороткие волны (УКВ).

С момента своего появления спутниковая связь быстро развивалась: некогда отдельные спутниковые линии связи перешли в локальные и глобальные системы. В наши дни спутниковая связь является основным видом международной связи, доступной практически из любой точки на планете. Спутниковая сеть может функционировать как высокоскоростная магистральная сеть и как сеть высокоскоростного доступа или совмещать обе эти функции.

Космическая или спутниковая связь по существу является разновидностью радиорелейной (тропосферной) связи и отличается тем, что ее ретрансляторы находятся не на поверхности Земли, а на спутниках в космическом пространстве. Линии спутниковой связи состоят из участков Земля-спутник и Спутник-Земля.

Основной проблемой спутниковых радиолиний является наличие больших потерь сигнала, обусловленных его затуханием. Помимо затухания в пространстве, сигнал в линиях спутниковой связи подвержен влиянию большого числа других факторов, таких, как поглощение в атмосфере, рефракция, влияние дождевых осадков и так далее. В этих условиях правильный и точный учет влияния всех факторов позволяет осуществить оптимальное проектирование системы, обеспечить ее уверенную работу в наиболее трудных условиях и в то же время исключить излишние энергетические запасы, приводящие к неоправданному увеличению сложности земной и бортовой аппаратуры. Для получения высоких показателей работы спутниковых систем связи принято руководствоваться рекомендациями международного союза электросвязи (МСЭ или ITU-R).

Для спутниковых служб радиолиний Космос-Земля выделяются несколько частотных полос в диапазоне Ультракоротких волн: L, S, C, X, Ku, K, Ka, которые имеют разные общие полосы частот и количество поддиапазонов. В данной работе для сравнения будут рассматриваться X диапазон с общей полосой частот 8000-12000 МГц, содержащий 12 поддиапазонов с полосой до 1 ГГц и Ka-диапазон с общей полосой частот 26500-40000 МГц, содержащий 22 поддиапазона с полосой до 1 ГГц.

Кроме ширины полосы, выбор частоты канала спутниковой связи зависит от поглощения радиоволн выбранного диапазона в атмосфере и потерь за счет вращения плоскости поляризации. На распространение миллиметровых волн наибольшее влияние оказывают гидрометеоры и атмосферные газы (водяной пар и кислород воздуха). При распространении в атмосфере мощность радиосигнала поглощается в молекулах газа и гидрометеорах. Как правило, учитывается поглощение в кислороде и водяном паре, поглощение другими газами атмосферы можно пренебречь вследствие их незначительности [1].

Потери на поглощение в молекулах кислорода и водяного пара определяются по формуле:

$$L_{\Gamma} = \rho_{O_2} l_{O_2_{эКВ}} + \rho_{H_2O} l_{H_2O_{эКВ}}$$

ρ_{O_2} - удельное поглощение в молекулах кислорода (дБ/км). Для X диапазона оно будет равно $8 \cdot 10^{-3}$ дБ/км, для Ka-диапазона – 0,02 дБ/км. ρ_{H_2O} – удельное поглощение в водяном паре (дБ/км), Значение для X диапазона – $4 \cdot 10^{-3}$ дБ/км, для Ka-диапазона – 0,16 дБ/км. $l_{O_2_{\text{экв}}}$ – эквивалентная длина пути сигнала в области поглощения молекулами кислорода (км), $l_{H_2O_{\text{экв}}}$ - эквивалентная длина пути сигнала в области поглощения водяным паром (км).

Эффективные длины трасс, на которых существенно поглощение в газах, в зависимости от угла места можно определить по следующим формулам:

$$l_{O_2_{\text{экв}}}(\alpha) = \sqrt{R_{\text{экв}}^2 \sin^2 \alpha + 2R_{\text{экв}} l_{O_2} - R_{\text{экв}} \sin \alpha}$$

$$l_{H_2O_{\text{экв}}}(\alpha) = \sqrt{R_{\text{экв}}^2 \sin^2 \alpha + 2R_{\text{экв}} l_{H_2O} - R_{\text{экв}} \sin \alpha}$$

$R_{\text{экв}} = 8500$ (км) – эквивалентный радиус Земли.

Результаты расчетов величины затухания спутникового сигнала в газах, в соответствии с представленными выше формулами, представлены на рисунке 1, который наглядно демонстрирует значительное увеличение поглощения, если угол места земной станции меньше 20° , а также тот факт, что в Ka-диапазоне величина поглощения значительно выше, чем в X-диапазоне, хотя даже для самого худшего случая (когда угол места равен 5°) это значение не превышает 4,5 дБ.

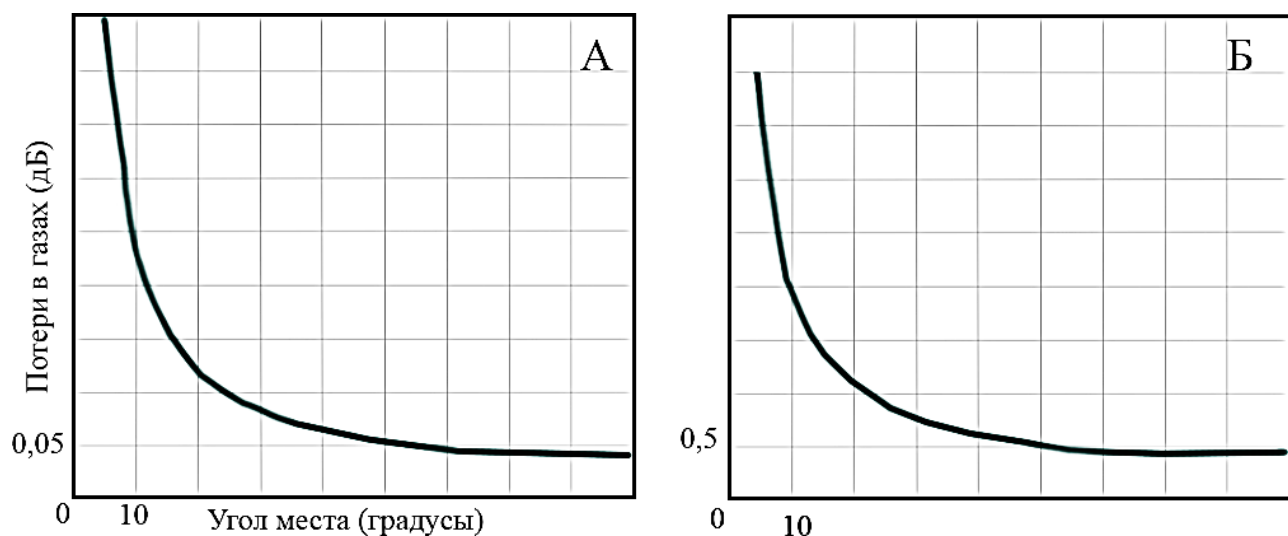


Рис. 1. Затухание сигнала в газах для X-диапазона (А) и Ka-диапазона (Б)

Для спутниковых радиолиний под термином гидрометеоры подразумеваются дождь, облака и туман.

Ослабление в облачности и тумане на наклонных трассах рассчитывается по формуле [2]:

$$A = \frac{L_{red} K_l}{\sin \theta} \text{ при } 5^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

L_{red} – общий столбчатый объем жидкой воды с температурой, сниженной до 0° ($\text{кг}/\text{м}^2$). Данный параметр можно взять из статистических данных рекомендации МСЭ [3].

K_l – коэффициент погонного ослабления ($\text{дБ}/\text{км})(\text{г}/\text{м}^3)$. Данный параметр зависит от дальности видимости в тумане.

Зависимости потерь сигнала при влиянии облачности и тумана при разных дальностях видимости и температуре 0°C представлены на рисунке 2. Из графиков следует, что в X-диапазоне при углах места $\theta \geq 40$ потери не превышают значения 0,5 дБ. В Ka-диапазоне потери не превышают 5 дБ при углах места $\geq 30^\circ$. Однако при меньших углах места потери сильно возрастают, но вероятность возникновения столь густого тумана, в котором затухание сигнала может достичь 27 дБ, невелика в средней полосе.

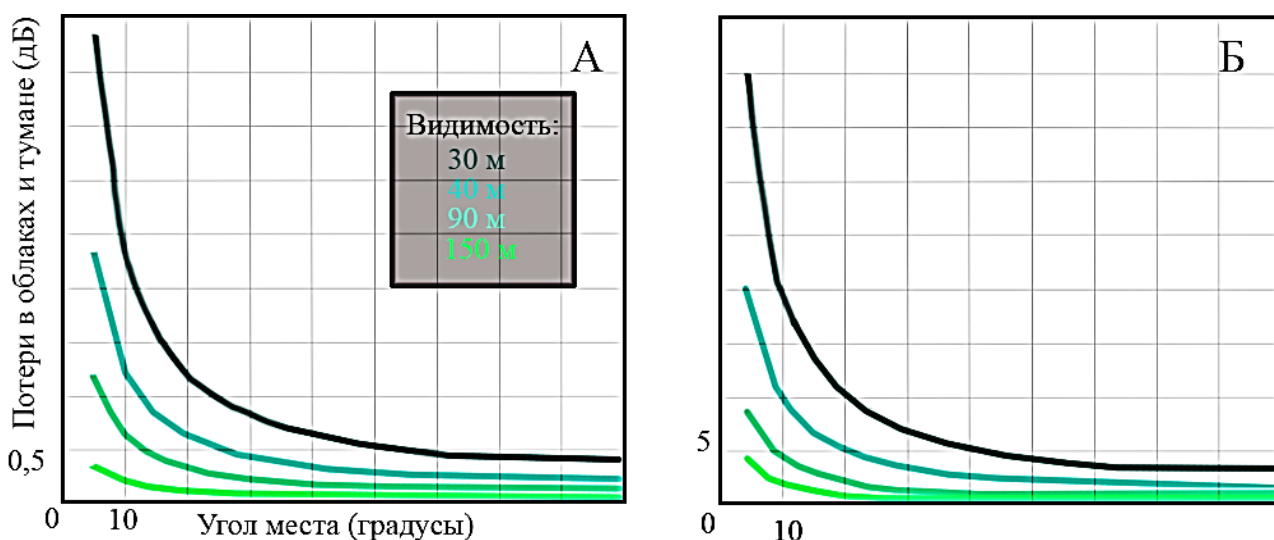


Рис. 2. Потери в облаках и тумане для X-диапазона (А) и Ka-диапазона (Б)

Для расчета величины затухания спутникового сигнала при влиянии необходимо руководствоваться рекомендациями международного союза электросвязи [4, 5, 6]. Потери ЛД связаны с поглощением и рассеянием энергии радиоволн каплями дождя и могут быть рассчитаны в соответствии с [5,7]. Необходимо руководствоваться следующими исходными данными: $\phi ЗС$ – широта (значение положительно для Северного полушария и отрицательно для Южного), $\lambda ЗС$ – долгота, $h ЗС$ – высота над уровнем моря (в км), T_r , (T_m) – процент времени года (или месяца), для которого определяются потери.

Сама методика расчета потерь на трассе, при влиянии дождя, хорошо проработана и включает следующие шаги:

1. Расчет эффективной высоты дождевой зоны (км).
2. Расчет пути сигнала в дожде по наклонной трассе от станции до высоты дождя (км).
3. Расчет горизонтальной проекции (км).
4. Выбор интенсивности дождя (мм/час), руководствуясь рекомендациями МСЭ [8].
5. Расчет коэффициента уменьшения $r_{0,01}$, учитывающего пространственную неравномерность дождя.
6. Расчет удельного затухания сигнала в дожде [5].
7. Определение потерь в дожде ЛД 0,01 г, превышаемых в течение не более чем 0,01 % года.

Эти шаги подробно расписаны в рекомендациях МСЭ [1-9]

Зная величину удельного затухания в дожде радиосигнала выбранного частотного диапазона, можно рассчитать эффективную длину трассы в зависимости от угла места ЗС [9] и потери в дожде для вертикальной и горизонтальной поляризации. Как видно из графиков 5 и 6, потери в Ка-диапазоне превышают потери в Х-диапазоне более чем в 10 раз, однако следует учитывать, что расчет производился для самого неблагоприятного случая: сильный дождь с интенсивностью более 10 мм/ч, эффективная длина трассы в дожде превышает 40 м при угле места $\alpha=5^\circ$. Данная ситуация очень редко встречается на практике.

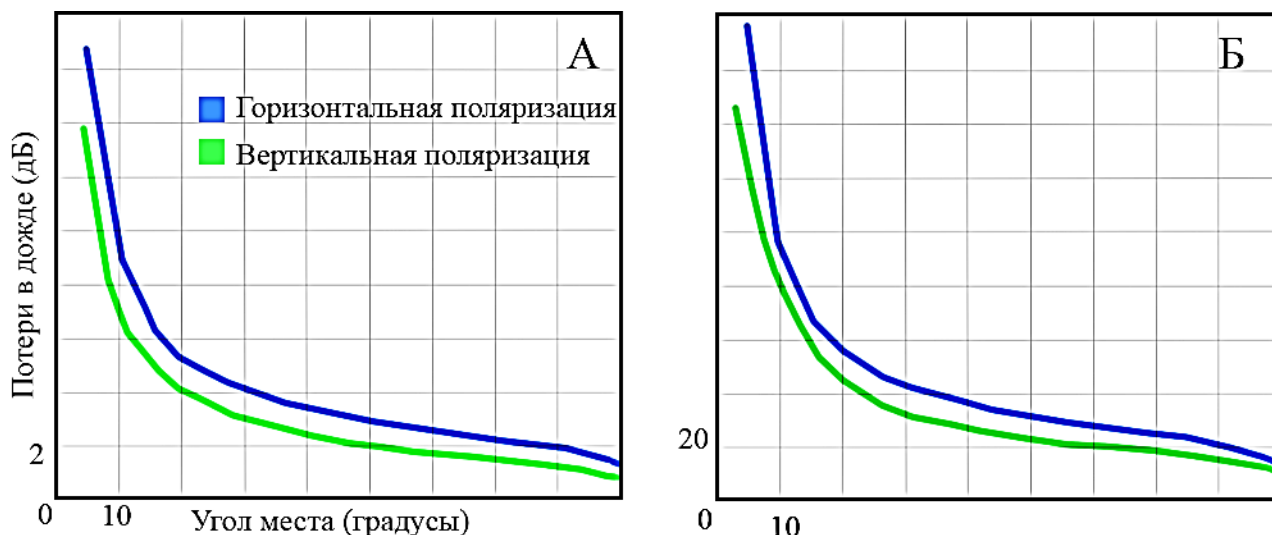


Рис. 3. Потери в дожде для X-диапазона (А) и Ka-диапазона (Б)

Сравнивая результаты вычислений затухания сигналов разных частотных УКВ-диапазонов, можно прийти к выводу, что наиболее целесообразным является использование X-диапазона при проектировании спутниковой линии связи. Однако скорости передачи данных X-диапазона значительно уступают K-диапазону, где можно достигнуть больших скоростей передачи данных, которое происходит за счет увеличения полосы до 1,5 ГГц. Помимо этого, у K-диапазона выше пропускная способность по сравнению с X-диапазоном в 4 раза.

Таким образом, использование K-диапазона является наиболее эффективным при проектировании радиолинии, если представляется такая возможность.

Список литературы

1. Рекомендация МСЭ-R P.525-2
2. Рекомендация МСЭ-R P.840-6
3. Рекомендация МСЭ-R P.1815-1
4. Рекомендация МСЭ-R P.837-6
5. Рекомендация МСЭ-R P.838-3
6. Рекомендация МСЭ-R S.614-4
7. Рекомендация МСЭ-R P.581-2
8. Рекомендация МСЭ-R P.837
9. Рекомендация МСЭ-R P.618-11

10. Рекомендация МСЭ-R P.841

11. Рекомендация МСЭ-R P.676-10

12. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. Учебник для вузов. – М.: Связь, 1972.

13. Вишневский В., Фролов С., Шахнович И. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты скоростей. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2011, №1, с. 90 – 97.

14. Расчет спутниковой линии связи Алматы -Лондон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=16293#1>

15. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлениям «Телекоммуникации» подгот. бакалавров и магистров (55400) и дипломир. специалистов (654400)] / И.М. Тепляков. – М.: Радио и связь, 2004. – 327 с.