

УДК 654.197.6

Особенности спутникового телевизионного вещания на высокоширотные зоны обслуживания

В.Н. Яров, В.И. Милкин

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра радиотехники и радиотелекоммуникационных систем

Аннотация. В высокоширотных зонах существует ряд факторов, оказывающих влияние на энергетические характеристики сигнала спутникового телевизионного вещания. Важнейшими следует считать такие, как рассеяние сигнала на радиолиниях большой физической протяженности, малые углы места, регулярное поглощение атмосферным кислородом и водяными парами, спорадическое поглощение гидрометеорами в виде дождя, снега и т.п. В представленной работе рассмотрены геометрические факторы.

Abstract. The features of the satellite TV broadcasting on the high-latitude satellite-serviced area is under consideration in the paper. There are a lot of factors influencing upon the signal power parameters. They are such as a signal dispersion along the very lengthy radioline, very small elevation angles, an absorption in the atmosphere oxygen and aqueous vapor, the hydrometeor attenuation (rain, snow, sleet and etc.) and other important factors. But because of the limited paper volume only several factors have been considered properly.

Ключевые слова: спутниковое телевизионное вещание, высокоширотная зона обслуживания, угол места, энергетические параметры радиолинии

Key words: satellite TV broadcasting, high-latitude satellite-serviced area, elevation, radioline power parameters

1. Введение

Спутниковое телевизионное вещание производится по схеме, приведенной на рис. 1. Спутниковая линия связи – линия связи между земными станциями с помощью одного СР – включает в себя участок Земля – спутник (рис. 1, линия вверх) и участок спутник – Земля (линия вниз). Следует отметить, что один спутник оснащен несколькими СР, далее – транспондерами.

Зона обслуживания определяется как формой диаграммы направленности антенны транспондера, так и реальным рельефом местности в зоне приема, а также рядом других факторов, например таких, как нестабильность положения спутника на орбите и нестабильность ориентировки передающей антенны транспондера. В этой связи широко используется понятие гарантированной зоны обслуживания, в которой сохраняются условия приема при любых сочетаниях неблагоприятных факторов.

Спутники, осуществляющие телевизионное вещание, находятся исключительно на геостационарной орбите, расположенной в экваториальной плоскости Земли на высоте 35 875 км. Период обращения спутника на данной орбите составляет одни сутки. Другими словами, угловые скорости спутника и точки земной поверхности равны, поэтому для земного наблюдателя спутник представляется неподвижным.

Геостационарные орбиты (в иностранных источниках часто используются термины геосинхронные, пояс Кларка) выгодны тем, что антенны земных станций, нацеленные на спутник, являются неподвижными, т.е. не требуют устройств наведения. Зона видимости спутника составляет около 1/3 поверхности Земли. Кроме того, при использовании геостационарных спутников отсутствует сдвиг частоты в результате доплеровского эффекта и улучшается стабильность уровня излучаемого (и принимаемого) сигнала за счет постоянства ориентации антенн транспондеров.

Каждый спутник занимает определенную позицию на геостационарной орбите. Для земного наблюдателя геостационарная орбита представляется участком дуги с размещенными на ней, с определенным шагом, спутниками. Каждый спутник занимает уникальную позицию, обозначаемую долготой точки, находящейся на линии экватора непосредственно под спутником.

Для наведения антенны на спутник ее необходимо правильно сориентировать как по горизонтали (азимуту), так и по вертикали (углу места).

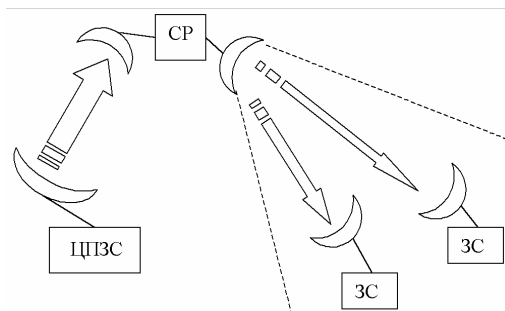


Рис. 1. Схема организации спутникового телевизионного вещания

ЦПЗС – центральная передающая земная станция
СР – спутниковый ретранслятор
ЗС – земная приемная станция

2. Факторы, влияющие на распространение сигнала

Как уже отмечалось, линии спутниковой связи состоят из двух участков: Земля-спутник и спутник-Земля. В энергетическом смысле наиболее сложным представляется второй участок – из-за ограничений на массу, габаритные размеры и энергопотребление бортового ретранслятора, лимитирующих его мощность. Поэтому мы оценим физические факторы, влияющие на прохождение сигнала именно на линии спутник-Земля. Следует отметить, что и на линии Земля-спутник действуют те же факторы, но в обратном пространственном порядке и с существенно меньшим влиянием на энергетические характеристики сигнала.

Основная особенность спутниковых линий – наличие больших потерь сигнала, обусловленных следующими причинами:

1. Рассеянием энергии, излучаемой транспондером на трассах большой физической протяженности.
2. Регулярным стандартным поглощением в тропосфере кислородом и водяными парами.
3. Случайным поглощением в гидрометеорах в виде дождя, снега, града, тумана, облачности и т.п.
4. Вращением плоскости поляризации электромагнитной волны и ее деполяризации.
5. Воздействием шумов космического происхождения.
6. Влиянием большого числа других факторов.

В последующих работах будет показано, что все перечисленные факторы влияют на спутниковый сигнал существенно в большей степени именно в высокоширотной зоне. В настоящей работе рассматривается только фактор 1, который определяется геометрическими параметрами линии – ее физической протяженностью и углом места, а также влияние рефракции на характеристики радиотрассы.

3. Геометрические характеристики радиолинии

Угол места γ (угол возвышения) представляет собой угол между направлением на спутник и горизонтом в точке приема. Его можно вычислить следующим образом:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{h \cos A \cos B - R}{\sqrt{h^2 + R^2 - 2hR \cos A \cos B}}\right), \text{ градусов} \quad (1)$$

где A – широта точки размещения земной станции; B – разность между значениями долготы земной станции и долготы спутника; $h=42170$ км – геоцентрическая высота орбиты; $R=6375$ км – радиус Земли (Кантор, 1997).

Для упрощения вычислений (1) можно привести к виду (2).

$$\gamma \approx \arctg\left(\frac{m \cos A \cos B - 1}{m\sqrt{1 - \cos^2 A \cos^2 B}}\right), \text{ градусов} \quad (2)$$

где $m = 6,61$ – отношение радиуса геостационарной орбиты к радиусу экватора Земли.

Для малых углов места ($\gamma < 30^\circ$) может быть учтено влияние рефракции (преломления) в стандартной тропосфере. Рефракцией в ионосфере для диапазона спутникового вещания можно пренебречь.

$$\gamma_R \approx \frac{\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4.132}}{2}, \text{ градусов.} \quad (3)$$

Расчеты с использованием (3) показывают, что в результате рефракции угол места в высоких широтах несколько увеличивается – в среднем на $0,1...0,2$ градуса, что способствует некоторому увеличению зоны обслуживания (см. рис. 4). Однако на широтах выше 70° это влияние несущественно, так как угол места все равно становится менее 10° (критическое значение), и явление рефракции лишь усложняет нацеливание антенны на спутник, поэтому может рассматриваться как негативное.

Длину радиотрассы можно определить из выражения:

$$d = \sqrt{l^2 + R^2 \sin^2 A}, \text{ км} \quad (4)$$

где d – наклонная дальность радиолинии; l – расстояние от подспутниковой точки до точки приема по поверхности Земли, которые можно найти из выражений:

$$l = \sqrt{h^2 + R^2 \cos^2 A - Rh \cos A \cos B}, \text{ км} \quad (5)$$

$$d = (R+h) \sqrt{1 + \left(\frac{R}{R+h}\right)^2 - 2 \frac{R}{R+h} \cos A \cos B} \approx 42250 \sqrt{1.023 - 0.3 \cos A \cos B}, \text{ км.} \quad (6)$$

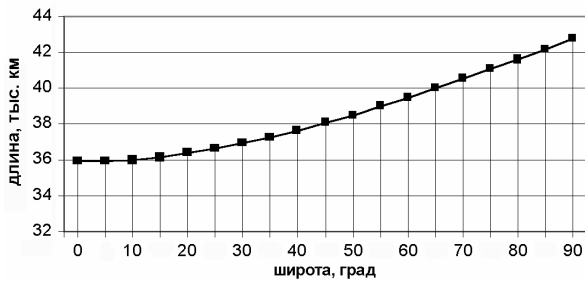


Рис. 2. Зависимость длины радиолинии от широты ЗС

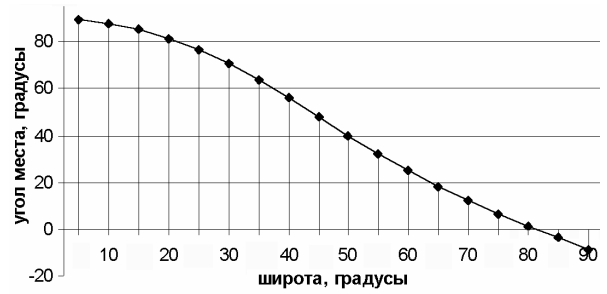


Рис. 3. Зависимость угла места от широты ЗС

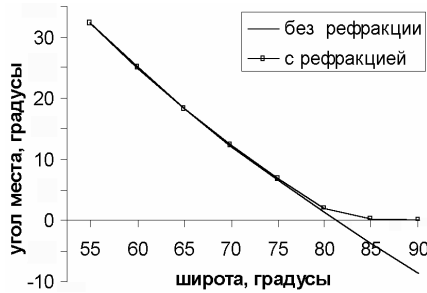


Рис. 4. Зависимость угла места от широты ЗС при малых углах места с учетом рефракции

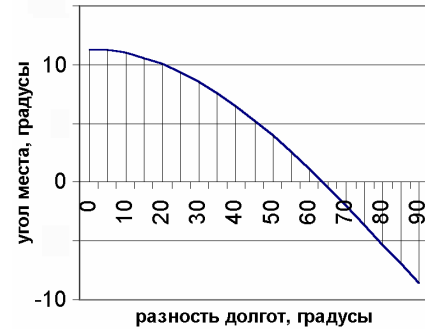


Рис. 5. Зависимость угла места от разности долгот ЗС и СР на широте 70° N

В силу ряда причин, по мнению большинства экспертов, минимальная величина угла возвышения антенны ЗС ограничивается значением $\gamma_{\min} = 10^\circ \dots 12^\circ$ (Камнев и др., 2008; Стивенсон, 2001). Так при, например, $A = 70^\circ$, получим: из (2), (5) и (4) $\gamma_{\min} = 11.5^\circ$, $d = 40500$ км. Отсюда вытекает, что параллель 70° является границей гарантированной зоны обслуживания. Ниже приведены зависимости длины радиолинии и угла места от широты точки размещения ЗС, рассчитанные для интервала широт $0 \dots 90^\circ$ с применением тех же выражений (рис. 2, 3).

На рис. 5 показана диаграмма зависимости угла места от разности долгот ЗС и транспондера. Расчеты выполнены в соответствии с выражением (2) для ЗС, расположенной на широте 70° при изменении разности долгот ЗС и транспондера в интервале $0 \dots 90^\circ$. Из диаграммы видно, что азимутальный угол поворота приемной антенны ЗС на указанной широте не превышает $\pm 20^\circ$. При большем азимуте угол места становится меньше критического значения 10° , что исключает уверенный прием. Для наглядности см. рис. 6.

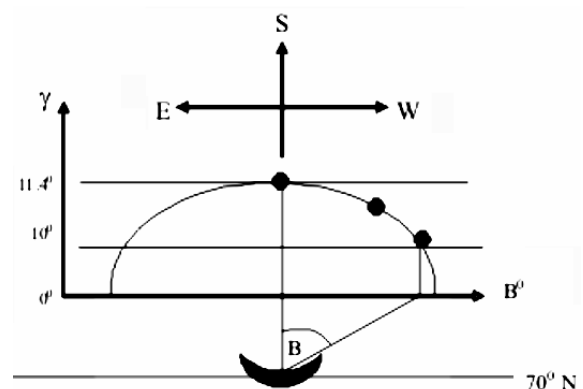


Рис. 6. Зависимость угла места от разности долгот ЗС и СР на широте 70° N. Здесь $|B| < 20^\circ$ – разность долгот, при которой угол места $\gamma > 10^\circ$

4. Сравнительный анализ энергетических параметров спутниковых линий

Оценим фактор 1. Вычислим длины радиолиний от любого спутника до ЗС, расположенных на широте 45° и 70° . Для простоты примем, что спутник и точки приема лежат на одном меридиане. Воспользуемся (6) или рис. 2.

$$42250 \sqrt{1.023 - 0.3 \cos A \cos B} = 42250 \cdot (1.023 - 0.3 \cdot \cos 45^\circ \cdot \cos 0^\circ)^{0.5} = 38045.36 \text{ км},$$

$$42250 \cdot (1.023 - 0.3 \cdot \cos 70^\circ \cdot \cos 0^\circ)^{0.5} = 40533.45 \text{ км}.$$

Таким образом радиолиния увеличивается по протяженности с ростом широты точки приема, что приводит к увеличению потерь энергии сигнала.

В свободном пространстве происходит затухание энергии сигнала, определяемое уменьшением плотности потока мощности при удалении от транспондера

$$L_o = 16\pi^2 d^2 / \lambda^2, \quad (7)$$

где λ – длина волны; d – наклонная дальность (расстояние между транспондером и ЗС).

Принимая отношение $d_{70}/d_{45} \approx 40533/38045 \approx 1.07$, в соответствии с (7) получим, что затухание, обусловленное только длиной радиолинии, на широте 70° в 1.15 раза больше, чем на широте 45° .

На радиолинии действуют и другие потери, перечисленные выше, совокупное значение которых можно обозначить как $L_{доп}$, тогда суммарное значение всех учитываемых потерь можно записать в виде

$$L_{\Sigma} = L_o L_{доп}. \quad (8)$$

Антенна ЗС в точке приема с коэффициентом усиления $G_{пр}$ соединена с приемником фидером с коэффициентом передачи $\eta_{пр}$. При наличии согласования волновых сопротивлений всех перечисленных звеньев мощность сигнала на входе приемника составит

$$P_{пр} = \frac{E}{L_o L_{доп}} G_{пр} \eta_{пр} = \frac{P_{пер} \lambda^2 G_{пер} G_{пр} \eta_{пер} \eta_{пр}}{16\pi^2 d^2 L_{доп}}, \quad (9)$$

где $E = P_{пер} \eta_{пер} G_{пер}$ – эквивалентная изотропно излучаемая мощность.

Если положить в (9) $G_{пр} = 4\pi S_{пр} / \lambda^2$, где $S_{пр}$ – эффективная площадь апертуры, то можно записать

$$P_{пер} = P_{пр} \cdot (4\pi d^2 L_{доп}) / (G_{пер} S_{пр} \eta_{пр} \eta_{пер}). \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет определить необходимую мощность передатчика транспондера по необходимому значению мощности сигнала на входе приемника. При этом длина волны λ в (10) отсутствует. Следовательно (10) применимо, для широкополосных антенн, которые и применяются в спутниковом телевидении. В рассмотренном выражении только $L_{доп}$ в значительной степени зависит от частоты.

Из (10) следует, что без учета $L_{доп}$ для достижения одинаковой мощности сигнала в точке приема необходимо увеличить передающую мощность транспондера в 1.15 раза при вещании на ЗС₇₀ по сравнению с ЗС₄₅.

Часто при расчете энергетических параметров спутниковых линий необходимо знать напряженность электромагнитного поля, создаваемого излучением транспондера на поверхности Земли A_o , мВ/м или плотность потока мощности излучения транспондера у поверхности Земли W , Вт/м²:

$$A_o = \sqrt{30E} / d \sqrt{L_{доп}}, \quad (11) \quad W = E/4\pi d^2 L_{доп} = A_o^2 / r_o L_{доп}, \quad (12)$$

где $r_o = 120 \pi$ – волновое сопротивление свободного пространства.

Мощность сигнала транспондера, принимаемая антенной ЗС с эффективной площадью апертуры $S_{пр}$, может быть определена через плотность потока мощности и напряженность поля следующим образом:

$$P_{пр} = W S_{пр} = A_o^2 S_{пр} / r_o L_{доп}. \quad (13)$$

Анализируя (12) и (13) замечаем, что для достижения одинаковых значений W и $P_{пр}$ на широте 45° и 70° необходимо увеличить мощность передатчика в 1.15 раза. При этом не учтено влияние $L_{доп}$.

5. Выводы

Анализ особенностей высокоширотных зон обслуживания показывает, что при учете только геометрических факторов (угол места, длина радиолинии), для достижения одинаковых энергетических характеристик в точке приема мощность спутникового передатчика должна быть на 15 % выше, чем при вещании на ЗС, расположенные в среднеширотных поясах. При ограниченных ресурсах мощности необходимо использовать передающую антенну с более узкой диаграммой направленности, однако при этом произойдет уменьшение зоны обслуживания. Верхняя граница зоны обслуживания по углу места находится примерно на широте 70° , при этом азимутальный угол настройки не превышает $\pm 20^\circ$, поскольку при большем значении азимута угол места становится меньше критического 10° .

Литература

- Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. М., АльпинаПаблшер, 538 с., 2008.
 Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание. М., Радио и связь, 521 с., 1997.
 Стивенсон Д. Спутниковое ТВ практическое руководство. М., ДМК, 489 с., 2001.