

УДК 621.396

А.Г. Воронцов, С.А. ШаповаловДонецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматики и телекоммуникацийE-mail: vag@mail.ru**РАДИОКАНАЛЫ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
УВЕЛИЧИВАЮЩЕГОСЯ «РАДИОСМОГА» ЗЕМЛИ****Abstract**

Vorontsov A.G., Shapovalov S.A. Satellite television radio channels in the conditions of the increased «radiosmog» around the Earth. The influence of off-wire wideband surface communication networks on quality of functioning of television satellite systems is examined in the research.

Keywords: satellite television radio channels, «radiosmog», quality of functioning.

Анотація

Воронцов О.Г. Шаповалов С.О. Радіоканали супутникового телебачення в умовах «радіосмогу» Землі, що збільшується. У дослідженні оцінюється вплив безпроводних широкополосних мереж зв'язку на якість функціонування телевізійних супутникових систем.

Ключові слова: супутникові телевізійні радіоканали, «радіосмог», якість функціонування.

Аннотация

Воронцов А.Г. Шаповалов С.А. Радиоканалы спутникового телевидения в условиях увеличивающегося «радиосмога» Земли. В исследовании оценивается влияние беспроводных широкополосных сетей связи на качество функционирования телевизионных спутниковых систем.

Ключевые слова: спутниковые телевизионные радиоканалы, «радиосмог», качество функционирования.

Общая постановка проблемы. Одним из основных направлений использования спутниковых систем связи является телевидение. Развитие этого направления привело к возможности использования не только мощных наземных спутниковых передатчиков станций для коллективного и корпоративного телевидения, но и небольших абонентских станций мощностью 4–6 Вт и диаметром антенны до 6 м. Такая тенденция дает возможность использовать спутниковое телевидение как большим, так и малым абонентским группам.

В настоящее время для территорий с влажным климатом используются спутниковые станции, работающие в диапазоне С (4/6 ГГц). Атмосфера Земли почти прозрачна для сигналов С диапазона. Эти достоинства обуславливают то, что данный частотный диапазон более всего подходит не только для спутниковых систем, но и для наземных систем передачи информации.

На данный момент одной из стремительно развивающихся технологий систем беспроводной наземной связи является WiMAX (стандарт 802.16a). Эта технология использует широкополосные сигналы, спектры которых перекрываются со спектром сигнала спутникового телевидения, и создает тем самым помехи спутниковым каналам связи. Предполагается, что в ближайшем будущем сети WiMAX покроют значительную часть освоенных территорий Земли, сформировав зоны сплошных помех, своеобразного «радиосмога», что создаст значительные проблемы приемным центрам других радиосистем не только на Земле, но и в ближнем Космосе.

Постановка задач исследования. К настоящему времени сети WiMAX уже создают значительные помехи наземным приемным центрам спутниковых систем связи, методы борьбы с кото-

рыми интенсивно изучаются во всем мире. Вопросы влияния помех со стороны передатчиков наземных радиосетей космическим приемным центрам до настоящего времени не изучены, однако актуальность таких исследований будет возрастать по мере превращения поверхности Земли сплошное излучающее поле, формируемое многочисленными наземными СВЧ передатчиками.

Целью работы является оценка уровня помех спутниковым приемным центрам, расположенным на геостационарной орбите со стороны наземных СВЧ передатчиков. Предполагается, что основными путями проникновения помех в приемник спутникового ретранслятора могут быть боковое излучение антенн наземных передатчиков, расположенных в пределах зоны покрытия спутниковой антенны и «подсвечивание» спутниковой антенны со стороны главных лепестков антенн наземных передатчиков, расположенных в периферийной зоне области покрытия. Указанное определяет задачи исследования.

Решение задач и результаты исследований. В основу метода оценки влияния бокового излучения антенн беспроводной системы на спутниковый канал положен стандартный энергетический расчет канала связи. Проведем энергетический расчет для наземной спутниковой станции и сети из множества станций WiMAX, которые располагаются концентрическими окружностями вокруг наземной спутниковой станции ([1], [2]). Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Исходные данные для расчета трассы спутникового канала связи

Исходные данные для расчета:	
Географическое расположение ЗС (Донецк)	
Широта (Север)	48°00'
Долгота (Восток)	37°48'
Отметка над уровнем моря	+241м
Вид модуляции	QPSK
Диапазон, ГГц	5,925...6,425(6/4)
Тип антенны	параболическая
Стандарт	В
Коэффициент усиления на передаче $O_{пер-з}$, дБ	52
Поляризация на передачу	левая круговая
Мощность на выходе передатчика, Вт	5
	дБВт
Затухание в ВЧ-части на передачу, дБ	3,5
Параметры ИСЗ	
Позиция на ГО	38° в.д.
Расчетный срок существования, лет	14–17
Диапазон, ГГц	6/4
Полоса частот ствола, МГц	36
КПД волнового тракта η_v	0,9
Допустимое отношение сигнал/шум, дБ	12

Эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ) передающей станции вычисляется по формуле:

$$P_{эиим} = P_{пер} + G_{пер} - \eta_{пер} \tag{1}$$

где $P_{пер} = 7$ дБ — эффективная мощность сигнала на выходе передатчика; $\eta_{пер} = 3,5$ дБ — затухание в ВЧ-части; $G_{пер} = 52$ дБ — коэффициент усиления передающей антенны относительно изотропного излучателя. Получим $P_{эиим} = 55,5$ дБВт

Затухание энергии в свободном пространстве, определяемое уменьшением плотности потока мощности при удалении от излучателя определяется по формуле:

$$L_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right), \quad (2)$$

где $\lambda = 0,05$ м — длина волны; $d = 36380$ км — наклонная дальность от места расположения передающей антенны спутникового канала до приемной (определяется по известной высоте геостационарной орбиты геостационарной орбиты $H \approx 42170$ км, радиусу Земли $R \approx 6371$ км и координатам передающей антенны на поверхности Земли — см. табл.1). Получим $L_0 = 199,2$ дБ.

Помимо основных потерь, на трассе имеют место дополнительные потери L_{don} . Полное значение потерь на трассе $L_{\Sigma} = L_0 + L_{don}$. Дополнительные потери формируются за счет влияния факторов атмосферы Земли. Наиболее существенное влияние атмосферы проявляется в поглощении энергии радиоволн в газах атмосферы и поглощении в гидрометеорах.

После проведения вычислений по методике[3] получены следующие результаты. Величина ослабления сигнала в газах атмосферы A_a составляет:

$$A_a = 0,1 \text{ дБ.}$$

Ослабление сигнала в дожде, превышаемое в 0,01 % среднего года:

$$A_{\partial 0,01} = 6,72 \text{ дБ.}$$

Таким образом, дополнительные потери на участках линии связи:

$$L_{don} = A_{\partial 0,01} \cdot A_a = 6,81 \text{ дБ.}$$

Полное значение потерь на трассе $L_{\Sigma} = L_0 + L_{don}$ дБ.

В диапазонах частот, где работают спутниковые системы, шумы, создаваемые различными источниками, имеют аддитивный характер, их суммарная мощность выражается формулой:

$$P_{ш} = \kappa \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta F_{ш},$$

где $\kappa = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц*град — постоянная Больцмана;

T_{Σ} — эквивалентная шумовая температура всей приемной системы с учетом внутренних и внешних шумов;

$\Delta F_{ш}$ — эквивалентная (энергетическая) шумовая полоса приемника.

При расчете энергетики спутниковых радиолиний необходимо определить полную мощность шумов, создаваемых на входе приемного устройства спутника различными источниками. Полная эквивалентная шумовая температура приемной системы, состоящей из антенны, волноводного тракта и собственно приемника, пересчитанная ко входу приемника:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot (1 - \eta_B) + T_{пр},$$

где T_A — эквивалентная шумовая температура антенны;

$T_0 = 293K$ — абсолютная температура среды;

$T_{пр}$ — эквивалентная шумовая температура приемника, обусловленная его внутренними шумами;

η_B — коэффициент передачи волнового тракта.

Эквивалентная шумовая температура антенны может быть представлена в виде составляющих:

$$T_A = T_{я.а} + T_{я.з} + 2 \cdot c \cdot T_{я.к} + T_{ш.а}, \quad (3)$$

где $c = 0,04$ — коэффициент, учитывающий интегральный уровень энергии боковых лепестков;

$T_{я.к} = 0\text{ К}$ — яркостная температура космического пространства;

$T_{я.а} = 205,8\text{ К}$ — яркостная температура радиоизлучения земной атмосферы;

$T_{я.з} = 90\text{ К}$ — яркостная температура излучения Земли;

$T_{ш.а} = 0,065\text{ К}$ — шумовая температура антенны, обусловленная омическими

потерями. Результат расчета по (3) $T_A = 296\text{ К}$.

Таким образом получим:

$$T_{\Sigma} = 328,6 + T_{np} \text{ К.}$$

Следуя методике энергетического расчета канала связи, определим уровень сигнала от земной спутниковой станции и допустимый уровень шумов на входе приемника. После проведения расчета получены следующие данные:

Мощность сигнала от земной спутниковой станции на входе приемной системы будет равна:

$$P_{с.вх} = -113,4 \text{ дБВт.}$$

Так, для приёма сигнала с QPSK необходимое отношение $(P_{с.вх}/P_{ш.вх})_{[дБ]}$ составляет 14 дБ или 25 раз. Тогда допустимая мощность шума на входе приёмника составит:

$$P_{ш.вх} = -127,4 \text{ дБВт.}$$

Для определения влияния беспроводных наземных систем связи на приемный тракт спутникового канала будем использовать станции стандарта WiMAX, для которых $P_{эиим}$ станции WiMAX стандартизирована и равна 29 дБмВт. Уровень ее излучения вне основного лепестка относительно основного равен $< -30\text{ дБ}$ [4]. В станциях данного типа в качестве антенн могут использоваться решетки или штыревые антенны. Их особенностью является то, что они имеют диаграмму направленности параллельную поверхности Земли (в идеальном случае), то есть стелящуюся. Если допустить, что уровень сигнала, передаваемый вертикально на приемную антенну спутника является боковым излучением антенны, то его мощность будет 0,001 (-30 дБ) от 29 дБмВт. Тогда $P_{эиим} = 0,795 \text{ мВт} = -1\text{ дБмВт}$.

Зона покрытия приемной антенны спутника имеет форму эллипса и охватывает обширную территорию. Окружность, как частный случай эллипса, можно использовать при расчете зоны покрытия приемной антенны. Радиус окружности составляет около $r = d * \text{tg}1^\circ = 664 \text{ км}$, а площадь зоны покрытия будет $S = \pi * r^2 = 1384414 \text{ км}^2$.

Зона покрытия станции WiMAX имеет радиус 12 км, тогда ее площадь будет равна $S_w = \pi * r^2 = 453 \text{ км}^2$. Таким образом, разделив площадь покрытия приемной антенны спутника на площадь покрытия станции WiMAX, получим количество станций WiMAX для покрытия данной территории. Оно равно 3057 станций. Это теоретическая оценка, на самом деле с учетом ландшафта и заселенности данной зоны можно предположить, что реальное количество станций WiMAX будет составлять около 20–25% от теоретического числа, то есть до тысячи передатчиков могут формировать поле, излучающее помех в пределах зоны покрытия спутниковой приемной антенны.

Также допустим, что диаграмма направленности спутниковой приемной антенны равномерно распределена от центра к краям. Введем коэффициент перекрытия диаграмм направленностей передающих антенн K , который показывает, какая часть $P_{эиим}$ других станций попадет спутниковый канал связи. Примем его равным 0,707 у краев диаграммы направленности и 1 у центра.

С учетом этого суммарный сигнал на входе спутникового приемника от бокового излучения антенн 1000 передатчиков WiMAX будет равен:

$$P_{WiMAX} = -139,9 \text{ дБВт.}$$

Суммарная мощность станций меньше допустимой мощности шума на входе приемника спутника. Разница составляет $-139,9 + 127,4 = 12,8 \text{ дБ}$, что меньше требуемого превы-

шения сигнала над шумами – 14дБ. Исходя, из приведенного расчета можно сделать вывод, что станции WiMAX создают уровень помехи способной снизить качество спутникового приемника. Также отметим, что допустимая мощность шума на входе приемника рассчитывается без учета этого фактора. Поэтому просуммируем сигнал со станций WiMAX и мощность шума на входе приемника равна –126,3 дБВт.

Тогда соотношение сигнал/шум будет $-113,4 - (-127,2) = 13,8$ дБ.

Чтобы учесть влияние станций WiMAX, вводим T_w (шумовая температура, вносимая в приемную систему станциями WiMAX) в формулу для расчета шумовой температуры приемной системы спутника. Изначально, полная эквивалентная шумовая температура приёмной системы равна:

$$T_{\Sigma} = \frac{P_{ш.вх}}{k \cdot \Delta f_{ш}} \approx 392 \text{ К.}$$

Определим полную эквивалентную шумовую температуру для сигнала привносимого со стороны станций WiMAX добавленный к шумам на входе приемника:

$$T_w = \frac{P_{ш.вх}}{k \cdot \Delta f_{ш}} - T_{\Sigma} \approx 21 \text{ К.}$$

Для восстановления исходного соотношения сигнал – шум на входе демодулятора и сохранения неизменным значения вероятности ошибки приема бита необходимо снижение уровня шумовой температуры приемной системы на указанную величину.

Предположение, что влияние наземных передатчиков на работу СВЧ спутниковых радиоканалов происходит через боковое излучение передающих антенн, требует уточнения, по крайней мере, для тех из них, что размещены на периферической части видимой со спутника области земной поверхности. На рис.1 приведена схема для расчета потерь на радиотрассе, для случая, когда может наблюдаться частичное перекрытие главных лепестков диаграмм направленности передающей и приемной антенн.

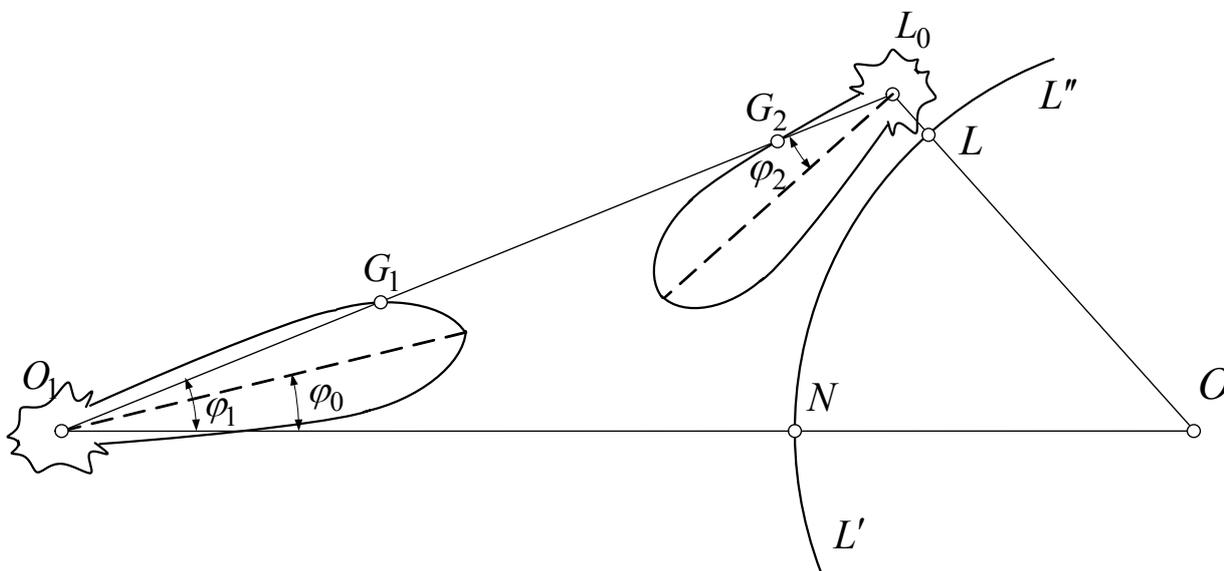


Рисунок 1 — Схема для расчета потерь на радиотрассе когда наземный передатчик находится в периферической зоне

Здесь обозначены: $OO_1 = H$ — высота орбиты спутника над центром Земли; $OL = R$ — радиус Земли; φ_0 — угол между осью диаграммы направленности спутниковой антенны и направлением на центр Земли; φ_1 — угол «зрения» точки стояния наземного передатчика с

орбиты спутника; φ_2 — угол места с точки стояния спутника L на геостационарный спутник (предполагается, что высота подъема антенны наземного передатчика над поверхностью Земли LL_0 значительно меньше радиуса R).

Фактическое усиление антенны наземного передатчика и приемной спутниковой антенны для рассматриваемой трассы зависят от углов $\varphi_1 - \varphi_0$, φ_2 и обозначены, как G_1 и G_2 соответственно. Так как значение φ_0 для данных условий величина постоянная, как переменные в дальнейшем рассматриваются только φ_1 и φ_2 .

При перемещении наземного передатчика по дуге $L'L''$, лежащей на поверхности Земли и принадлежащей плоскости, включающей точки расположения антенн наземного передатчика, спутника на орбите и центр Земли, закон изменения углов φ_1 и φ_2 от геодезического расстояния D по дуге DN может быть получен из решения геометрической задачи определения углов треугольников, следующей из рис.1:

$$\varphi_1(D) = \operatorname{arctg} \frac{R \sin \frac{D}{R}}{H - R \cos \frac{D}{R}}, \quad \varphi_2 = \frac{\pi}{2} - \frac{D}{R} - \varphi_1(D). \quad (4)$$

В качестве зависимости аппроксимирующей диаграммы направленности антенн спутника выбран отрезок строфоиды [6] в диапазоне изменения ее аргумента $\left(\frac{3}{4}\pi; \frac{5}{4}\pi\right)$. С учетом приведения этого диапазона к угловым границам главного лепестка диаграммы направленности антенн $-\varphi_{i \max} < \varphi_i < \varphi_{i \max}$ ($i = 1, 2$) через коэффициенты $k_i = \frac{\pi}{4\varphi_{i \max}}$ и положив $\varphi_0 = 0$, получим выражение для расчета изменения коэффициента усиления антенн в пределах главного лепестка $-\frac{\pi}{4k_i} < \varphi_i < \frac{\pi}{4k_i}$,

$$G_i(\varphi_i)_{\partial B} = 20 \lg \left\{ -G_{i0} \frac{\cos[2(k_i\varphi_i + \pi)]}{\cos(k_i\varphi_i + \pi)} \right\}. \quad (5)$$

Ширину главного лепестка аппроксимирующей модели можно изменять за счет выбора k_i , номинальный коэффициент усиления — за счет G_{i0} . Влияние боковых лепестков рассматривалось ранее и в данной модели не учитывается.

Объединение формул (4) и (5) позволяет построить зависимость изменения затухания на трассе радиоканала «наземный передатчик — геостационарный спутник» при перемещении наземного передатчика в пределах соответствующих частичному перекрытию диаграмм направленностей антенн

$$G_{\Sigma(\partial B)}(D) = G_{1(\partial B)}(D) + G_{2(\partial B)}(D),$$

График этой зависимости, построенной в среде таблиц Excel, приведен на рис.2. для случаев, когда $k_2 = 10$, а k_1 принимает значения 5; 4,5 и 3. Значение $k_1 = 5$ соответствует ширине главного лепестка спутниковой антенны, при которой граница видимой поверхности Земли совпадает с границей главного лепестка. При $k_1 > 5$ главный лепесток покрывает только часть видимой поверхности Земли, и периферическая зона может оказаться вне зоны покрытия спутниковой антенны.

Помех со стороны наземного передатчика в этом случае нет. При $k_1 < 5$ степень перекрытия диаграмм направленности возрастает, что повлечет увеличение уровня помех.

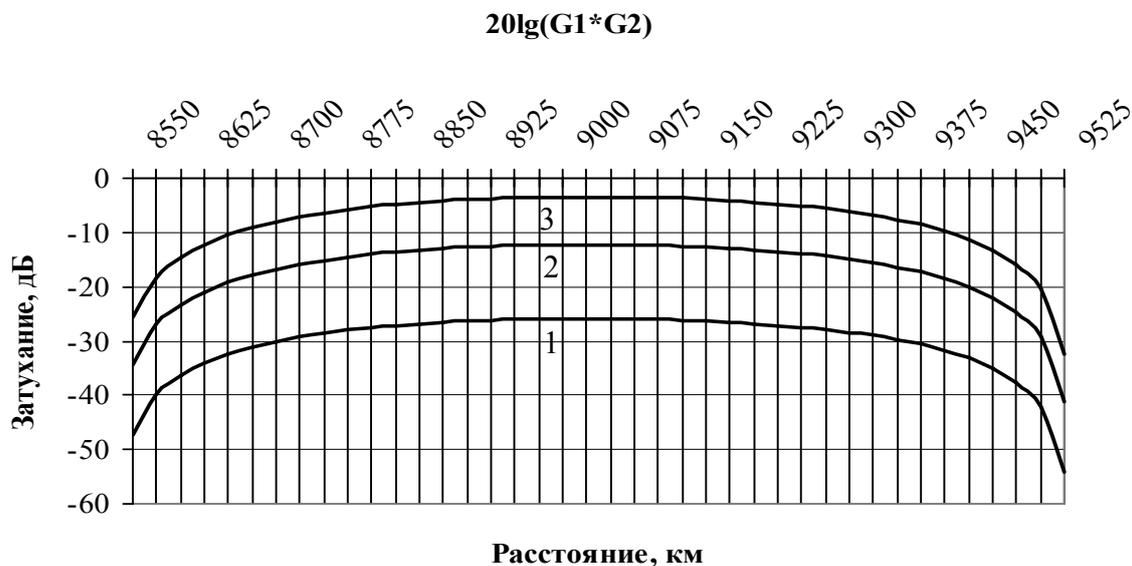


Рисунок 2 — Зависимость изменения затухания уровня помех на трассе «наземный передатчик — геостационарный спутник» при перемещении передатчика в пределах периферической области ($1 - k_i=5$; $2 - k_i=4,5$; $3 - k_i=3$)

Выводы

1. Влияние наземных передатчиков на спутниковый СВЧ канал в наибольшей степени определяется уровнем бокового излучения антенн наземных передатчиков, мощностью и их количеством.

2. Массовое развертывание наземных сетей технологии WiMax в частотном диапазоне спутниковых каналов может привести к возрастанию шумов в канале, которое соответствует повышению шумовой температуры приемной спутниковой антенны на величину порядка 20К.

3. Существенное влияние на работу спутникового канала способны оказать наземные передатчики со стелющимися диаграммами направленности антенн и расположенные в периферийных зонах видимой со спутника поверхности Земли. Помехи от них могут оказаться соизмеримым с помехами от бокового излучения антенн передатчиков, расположенных в пределах зоны покрытия спутниковой антенны и даже превышать их.

Литература

1. Спутниковая связь и вещание: Справочник. — 3-е изд., перераб. и доп. / В.А. Бартнев, Г.В. Болотов, В.Л. Быков и др.; под ред. Л.Я. Кантора. — М.: Радио и связь, 1997.
2. Джон Спилкер «Цифровая спутниковая связь».
3. Бородич С.В. ЭМС наземных и космических радиослужб. Критерии, условия и расчет. — М.: Радио и связь, 1990. — 272 с.
4. Интернет ресурс <http://www.unidata.com.ua/?pg=26>
5. Микроволновая спутниковая аппаратура дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие, С.И. Брагин, И.В. Брагин, В.Ф. Михайлов.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. — М.: ГосТехИздат, 1957. — 608 с.

Здано в редакцію:
05.03.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Скобцов Ю.О.