

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SF.1601-2

Методики оценки помех, создаваемых линией вниз фиксированной службы, использующей станции на высотных платформах (стратосферные станции), работе линии вверх фиксированной спутниковой службы, использующей геостационарные спутники в полосе частот 27,5–28,35 ГГц

(Вопросы МСЭ-R 218/9 и МСЭ-R 251/4)

(2002-2005-2006)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены методики оценки помех, создаваемых линией вниз фиксированной службы, использующей станции на высотных платформах (стратосферные станции), работе линии вверх фиксированной спутниковой службы, использующей геостационарные спутники в полосе частот 27,5–28,35 ГГц. Настоящая Рекомендация содержит три Приложения, в которых излагаются методики расчета помех, расчета э.и.и.м. передачи от NAPS, оценка помех с точки зрения C/I, а также, в Дополнении, примеры применения этих методик.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что разрабатывается новая технология с использованием станций на высотных платформах (NAPS) в стратосфере;
- b) что ВКР-97 предусмотрела работу NAPS в рамках фиксированной службы (ФС) в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц;
- c) что поскольку полосы в диапазоне 47 ГГц более чувствительны к ослаблению в дожде в странах, перечисленных в пп. 5.537А и 5.543А Регламента радиосвязи (РР), для возможного определения дополнительного спектра в МСЭ-R был изучен диапазон частот 18–32 ГГц;
- d) что поскольку полосы в диапазоне 47 ГГц более чувствительны к ослаблению в дожде в некоторых странах, ВКР-2000 предусмотрела в таких странах использование NAPS в ФС в диапазонах 27,5–28,35 ГГц и 31,0–31,3 ГГц, при условии, что это не причинит вредных помех другим типам систем ФС или другим службам, которым данные полосы также распределены на первичной основе, или не потребует защиты от них (пп. 5.537А и 5.543А РР);
- e) что в Резолюции 145 (ВКР-03) предложено провести в качестве срочного вопроса исследования технических вопросов, вопросов совместного использования частот и регламентарных вопросов с целью определения критериев для работы NAPS в полосах 27,5–28,35 ГГц и 31,0–31,3 ГГц;
- f) что полоса 27,5–28,35 ГГц распределена фиксированной спутниковой службе (ФСС) (направление Земля-космос) на первичной основе;
- g) что существует потребность в методах оценки помех от передач в направлении NAPS-Земля в полосе 27,5–28,35 ГГц, которые могут причиняться приемникам спутников ФСС на геостационарной орбите,

рекомендует,

- 1 чтобы для оценки уровня помех, создаваемых передачей в направлении НАPS-Земля (линия вниз) в ФС линии связи Земля-космос (линия вверх) ФСС, использующей геостационарные (ГСО) спутники в полосе частот 27,5–28,35 ГГц, применялась методика, описанная в Приложении 1;
- 2 чтобы администрации рассматривали Приложение 2 в качестве метода для определения уровней э.и.и.м. передач в направлении НАPS-Земля в полосе 27,5–28,35 ГГц, которые могут послужить причиной заданного увеличения отношения помеха/шум (I/N) приемников на спутниках ФСС, находящихся на геостационарной орбите;
- 3 чтобы методика, содержащаяся в Приложении 3, могла быть использована для оценки отношения мощности несущей к мощности помехи (C/I) при определении уровня помех, создаваемого передачей в направлении НАPS-Земля (линия вниз) в ФС направлению Земля-космос (линия вверх) ФСС, использующей геостационарные (ГСО) спутники в полосе частот 27,5–28,35 ГГц.

Приложение 1

Методика оценки помех, создаваемых линией вниз ФС, использующей станции НАPS, работе линии вверх ФСС, использующей геостационарные спутники в полосе частот 27,5–28,35 ГГц

1 Введение

В настоящем Приложении представлена методика оценки помех от использующей станции НАPS ФС спутниковой системе ГСО ФСС в полосе 27,5–28,35 ГГц. Эта полоса используется системой ГСО/ФСС для работы в направлении Земля-космос (линия вверх).

2 Методика оценки помех

2.1 Помехи от системы станций НАPS

На рисунке 1 показана аналитическая модель, принятая для проведения оценки помех геостационарному спутнику от системы НАPS. Уровень мощности помех в полосе 1 МГц, $I(g, h, b, r)$, из-за воздействия сфокусированного луча НАPS, принимаемых геостационарным спутником (g), вычисляется согласно уравнению (1):

$$I(g, h, b, r) = P^H(b) - F_{loss} + G^H_{tx}(\varphi(g, h, b)) - FSL(g, h) + G^S_{rx}(\varphi(h, g, r)) \quad \text{дБ(Вт/МГц)}, \quad (1)$$

где:

$P^H(b)$: мощность передатчика в полосе 1 МГц (дБ(Вт/МГц)) на входе антенны НАPS для луча (b);

F_{Loss} : потери в фидере (дБ);

$\varphi(g, h, b)$: угол развязки (градусы) на станции НАPS (h) между направлением ориентирования сфокусированного луча НАPS (b) и геостационарного спутника (g);

- $G_{tx}^H(\varphi(g, h, b))$: усиление передающей антенны (дБи) HAPS (h) для внеосевого угла $\varphi(g, h, b)$;
- $FSL(g, h)$: потери в свободном пространстве (дБ) между геостационарным спутником (g) и станцией HAPS (h);
- $\theta(h, g, r)$: угол развязки (градусы) для геостационарного спутника (g) между направлением ориентирования на базисную точку ГСО ФСС (r) и станцией HAPS (h), см. рисунок 2;
- $G_{rx}^S(\theta(h, g, r))$: усиление приемной антенны (дБи) геостационарного спутника (g) для внеосевого угла $\theta(h, g, r)$.

РИСУНОК 1

Модель для оценки помех геостационарному спутнику от станции HAPS

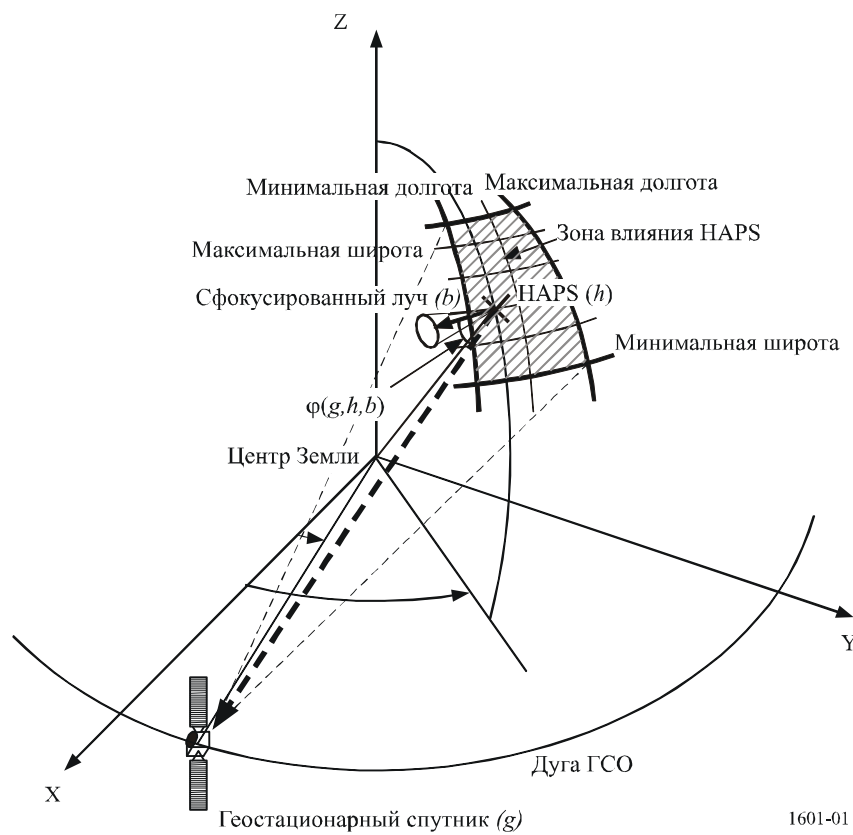
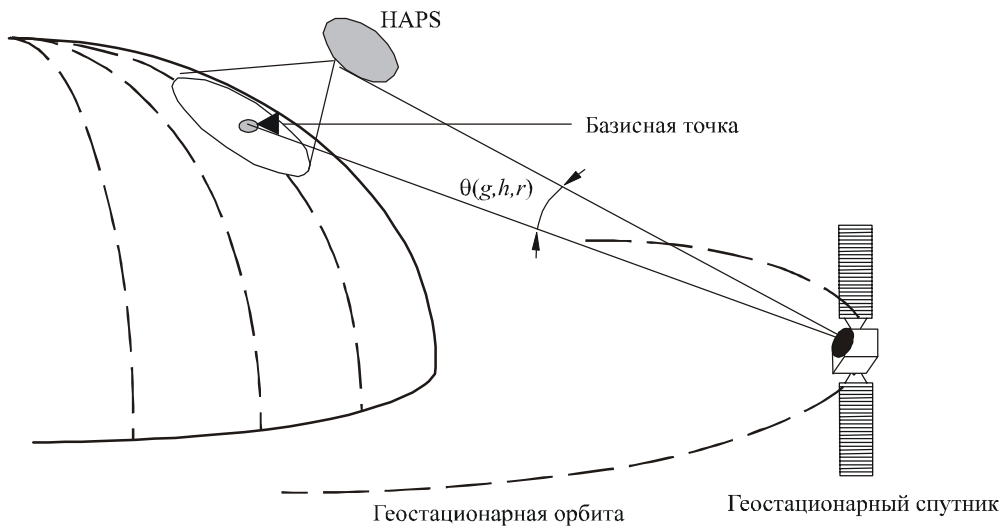


РИСУНОК 2

Геометрическая модель базисной точки для геостационарного спутника



1601-02

Чтобы вычислить угол развязки для геостационарного спутника, необходимо определить базисную точку для расчетов. Базисная точка выбирается в виде конкретного местоположения на поверхности Земли. Далее предполагается, что опорное направление сфокусированного луча антенны геостационарного спутника всегда ориентировано на базисную точку, независимо от орбитальной позиции космического аппарата. В случаях, когда базисная точка невидима для геостационарного спутника, предполагается перемещение базисной точки в другую точку, при условии что угол места в направлении геостационарного спутника составляет минимальную величину. На рисунке 2 показана геометрическая модель примера с использованием базисной точки.

Исходя из рабочего сценария системы HAPS, в которой станция HAPS может передавать в каждом сфокусированном луче несколько несущих, предполагается, что во всей полосе пропускания приемника на геостационарном спутнике могут присутствовать несколько несущих линии вниз системы HAPS. Совокупная помеха от системы HAPS обозначается символом I_{single} и вычисляется как сумма спектральной плотности $I(g, h, b, r)$ всех возможных сфокусированных лучей HAPS, которые могут использовать одну и ту же частоту, как показано в уравнении (2).

$$I_{single} = 10 \log \left(\sum_{h=1}^{h_n} \sum_{b=1}^{b_n} 10^{I(g, h, b, r)/10} \right) \quad \text{дБ(Вт/МГц)}, \quad (2)$$

где b_n означает число сфокусированных лучей, которые могут использовать одну и ту же частоту, а h_n означает число станций HAPS, из которых состоит одна система HAPS.

Если произведена оценка уровня помех, принятого спутником ФСС, то отношение I/N можно определить следующим образом:

$$I/N_{single} = I_{single} - N = I_{single} - 10 \log(k T_{sat}) - 60, \quad (3)$$

где:

- I/N_{single} : отношение помеха/тепловой шум (дБ);
- N : мощность теплового шума спутникового приемника в полосе 1 МГц (дБ(Вт/МГц));
- k : постоянная Больцмана (Вт/(К · Гц));
- T_{sat} : шумовая температура системы спутника ГСО/ФСС (К).

Вычисленный уровень совокупных помех можно затем сравнить с соответствующим пороговым уровнем помех, что позволит определить, создаются ли вредные помехи спутнику ФСС системой HAPS.

2.2 Помехи от нескольких систем HAPS

Могут возникнуть ситуации, когда определенному геостационарному спутнику могут создавать помехи несколько действующих систем HAPS. Совокупная помеха от нескольких систем HAPS обозначается символом $I_{multiple}$ и вычисляется как общая сумма уровней всех помех от каждой системы HAPS, создаваемых геостационарному спутнику, как показано в уравнении (4).

$$I_{multiple} = 10 \log \left(\sum_{s=1}^{s_n} \sum_{h=1}^{h_n} \sum_{b=1}^{b_n} 10^{I(g,h,b,r)/10} \right) \quad \text{дБ(Вт/МГц)}, \quad (4)$$

где s_n означает число систем HAPS. Другие термины описаны выше для случая помех от одной системы HAPS.

Для точной оценки ситуации с несколькими системами HAPS в расчетах должны использоваться характеристики каждой системы HAPS. При отсутствии такой информации для одной или нескольких систем приблизительные данные о результирующей помехе можно получить при использовании в расчетах характеристик эталонной системы HAPS.

Определив значение $I_{multiple}$, можно его использовать вместо I_{single} в уравнении (3) для оценки воздействия помех на ФСС.

2.3 Регулирование мощности на линии вниз

Помехи, создаваемые линии вверх ГСО/ФСС линией вниз системы HAPS, максимальны при условии максимальной мощности передачи на линии вниз HAPS или в условиях дождя. Совокупную мощность передачи на линии вниз HAPS можно уменьшить в условиях ясного неба, если в системе HAPS использовать регулирование мощности на линии вниз. В результате помехи, принимаемые на космическом аппарате ФСС, снижаются для условий ясного неба.

2.4 Входные параметры

В исследованиях помех с применением методики настоящего Приложения должны использоваться реальные характеристики рассматриваемых систем ФСС и HAPS, если они доступны. При их отсутствии можно использовать следующие значения:

2.4.1 Характеристики системы HAPS

См. Рекомендацию МСЭ-R F.1569.

2.4.2 Входные характеристики системы ФСС

- T_{sat} : 500 К
- Ширина луча антенны (малые станции): $0,3^\circ$
- Ширина луча антенны (центральные станции): 2°
- Усиление антенны: Рекомендация МСЭ-R S.672, Приложение 1, ($L_s = -20$ дБ)¹.

¹ В Рекомендации МСЭ-R S.672 приведены проектные требования для разработчиков антенн для космических аппаратов. Предоставление таких требований для профилированного луча невозможно для типовых случаев, поскольку отсутствуют сведения о зоне обслуживания ФСС. Для описания профилированного луча может использоваться реальная характеристика спада $L_s = -10$ дБ. В отношении характеристик спада необходимо дальнейшее изучение.

Дополнение 1 к Приложению 1

Пример применения методики Приложения 1

1 Модель оценки помех

Предполагается, что система HAPS, состоящая из ряда платформ HAPS, работает в зоне прямоугольной формы, как показано на рисунке 3. Платформа, расположенная в центре этой зоны, служит базисной точкой в данном примере расчета, а все другие платформы развертываются на плоскости, которая перпендикулярна линии, соединяющей базисную точку и ее точку надира на Земле. Если базисная точка берется в качестве начала координат x - y на этой плоскости, то предполагается, что платформы HAPS размещаются в каждом угле решетки в зоне с координатами (L_x, L_y) , $(L_x - L_y)$, $(-L_x, L_y)$ и $(-L_x, -L_y)$. Также предполагая, что номера платформ HAPS обозначаются в виде n_x и n_y , если считать по осям x и y , соответственно, то тогда общее число рассматриваемых платформ n_t соответствует $n_x \times n_y$ (n_x и n_y являются нечетными числами). В этой модели развертывания системы расстояния разнесения между соседними станциями HAPS обозначаются как d_x и d_y при измерении вдоль осей x и y , соответственно. Значения d_x и d_y определяются с помощью выражений $2L_x/(N_x - 1)$ и $2L_y/(N_y - 1)$, соответственно.

Также предполагается, что геостационарный спутник, который будет подвергаться помехам, расположен в направлении предполагаемой оси x , а спутниковая антенна всегда направлена на базисную точку. Угол α на рисунке 4 определяется как угол места спутника в направлении базисной точки, измеренный от плоскости x - y .

Совокупная помеха от n_t платформ HAPS оценивается в виде отношения мощности помех к мощности шума геостационарного спутника, I/N , в функции угла места, α , для комбинаций характеристик типовой развертываемой станции HAPS и характеристик спутника.

РИСУНОК 3

Модель оценки помех

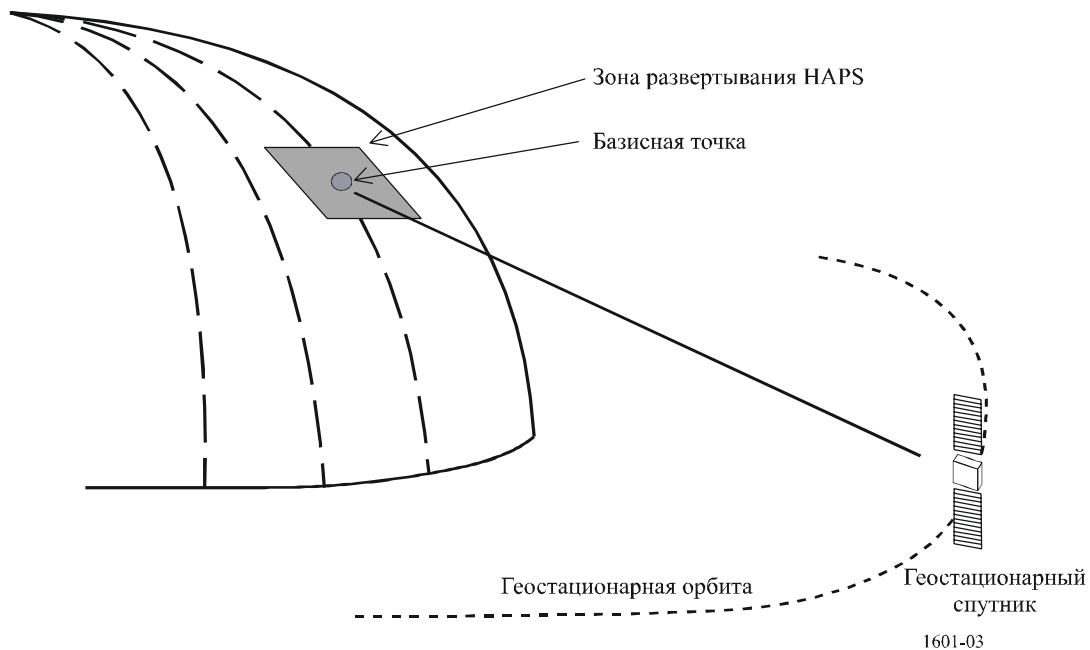
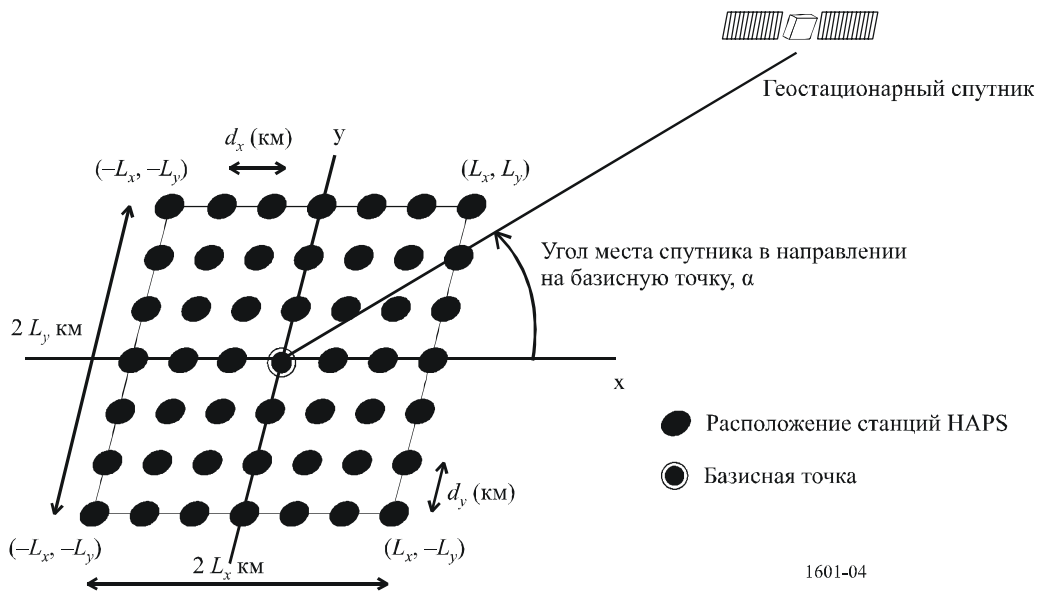


РИСУНОК 4

Модель развертывания системы HAPS



2 Характеристики систем HAPS

Типичные параметры систем HAPS в диапазоне 28 ГГц приведены в Рекомендации МСЭ-R F.1569. В таблице 1 показаны параметры, используемые для расчетов.

ТАБЛИЦА 1

Характеристики систем HAPS

Параметры	HAPS-1	HAPS-2
Высота станции HAPS (в базисной точке) (км)	20	20
Совокупная э.и.и.м. HAPS в направлении вбок или назад ⁽¹⁾	-5 дБВт в полосе шириной 20 МГц	-5 дБВт в полосе шириной 20 МГц
Длина зоны развертывания системы HAPS ($2 L_x$) (км)	1 000	600
Ширина зоны развертывания системы HAPS ($2 L_y$) (км)	1 000	600
Число станций HAPS на оси x (n_x)	11	9
Число станций HAPS на оси y (n_y)	11	9
Общее число станций HAPS (n_T)	121	81
Расстояние между HAPS на оси x (d_x) (км)	100	75
Расстояние между HAPS на оси y (d_y) (км)	100	75

⁽¹⁾ На рисунке 3 Рекомендации МСЭ-R F.1569 показана практическая модель с использованием 397 сфокусированных лучей.

3 Характеристики геостационарного спутника

Параметры геостационарного спутника показаны в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Характеристики геостационарного спутника

Параметры	ГСО-1	ГСО-2
Шумовая температура системы (К)	500	500
Ширина луча антенны по уровню половинной мощности (градусы)	0,3	2
Уровень бокового лепестка антенны (дБ) (L_s в Приложении 1 Рекомендации МСЭ-R S.672-4)	-20	-20
Пиковое усиление антенны ⁽¹⁾ (дБи)	55,0	38,5

⁽¹⁾ Вычислено с использованием уравнения $G_{max}(\text{дБи}) = 44,5 - 20 \log \theta$ (θ обозначает ширину луча в градусах на уровне -3 дБ).

4 Результаты расчетов

На рисунках 5 и 6 показаны рассчитанные значения отношения I/N геостационарного спутника.

Из данной методики видно, что отношение I/N геостационарного спутника в значительной степени зависит от пикового усиления антенны геостационарного спутника, если антенна направлена на источник помех. Антенна с узким лучом ($0,3^\circ$) принимает больше помех в случае более низких углов места базисной точки, поскольку число станций HAPS, принимаемых в пределах главного луча, ограничено для больших углов места и возрастает для меньших углов места. С другой стороны, антенна с более широким лучом (2°) принимает меньше помех из-за более низкого усиления антенны, а уровень помех довольно постоянен, поскольку антенна охватывает почти всю зону развертывания HAPS в пределах своего главного луча даже для больших углов места. Уровень помех зависит в основном от расстояния распространения мешающего сигнала. Для этих ситуаций результаты показывают, что отношение I/N геостационарного спутника меньше -20 дБ (1%) для обоих случаев эксплуатации геостационарного спутника при обычных рабочих условиях, когда предполагается, что углы места земных станций составляют 20° или более по отношению к спутнику.

РИСУНОК 5

Модель HAPS-1 (121 станция HAPS с интервалом 100 км)

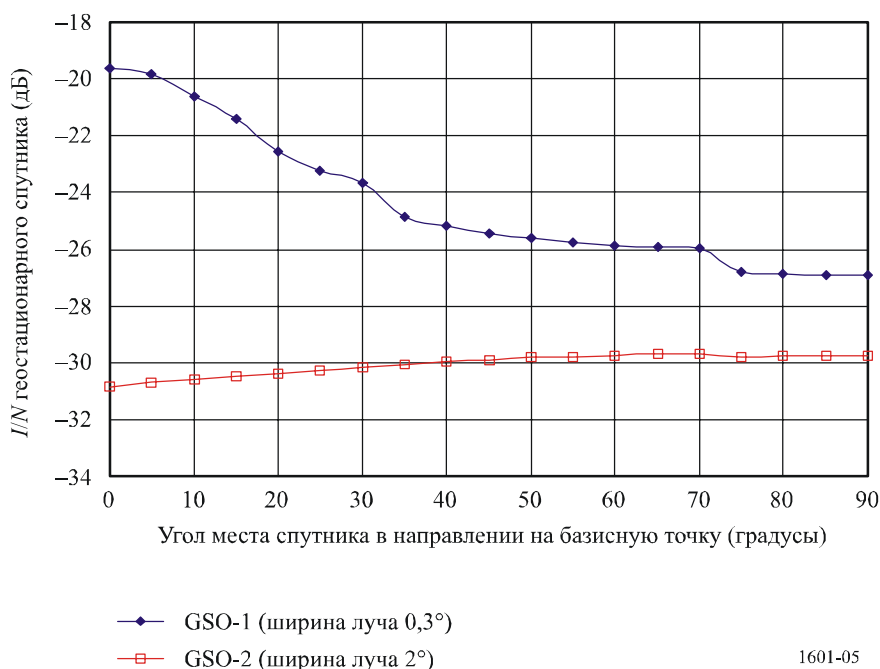
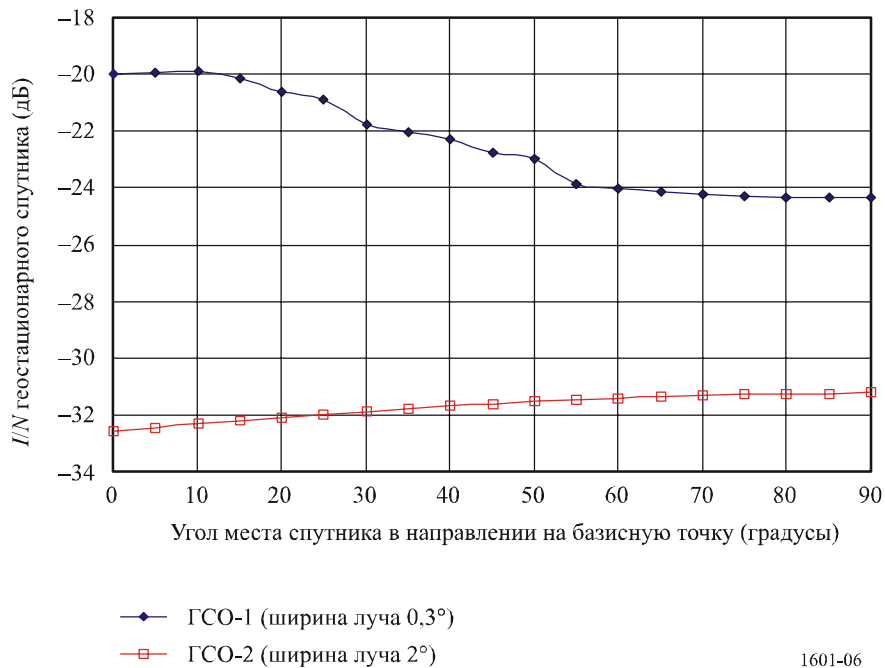


РИСУНОК 6

Модель HAPS-2 (81 станция HAPS с интервалом 75 км)



1601-06

Приложение 2

Методика оценки э.и.и.м. передач станций HAPS в направлении HAPS-Земля в полосе 27,5–28,35 ГГц, которые приводят к заданному увеличению отношения I/N приемников геостационарных спутников ФСС

1 Введение

Для данного метода в качестве меры помех используется отношение I/N приемной системы ФСС. Определяющими характеристиками помех для приемной системы ФСС являются усиление ее антенны и шумовая температура системы.

Этот метод может использоваться для оценки плотности э.и.и.м. передач станций HAPS в направлении HAPS-Земля, которые могут привести к заданному увеличению отношения I/N приемных систем ФСС на геостационарной орбите.

2 Описание метода

Первым этапом этого метода является вычисление заданного увеличения отношения помеха/шум, I/N , путем определения мощности шума при предполагаемой плотности мощности шума приемной системы в полосе 1 МГц.

$$N = k T B, \quad (5)$$

где:

- k : постоянная Больцмана (Вт/(К · Гц));
- T : шумовая температура приемной системы ФСС (К);
- B : эталонная ширина полосы (1 МГц).

Далее, для определения мощности помех в (дБ(Вт/МГц)) используется предполагаемое отношение I/N .

$$I = N + I/N \quad (6)$$

После этого плотность потока мощности (п.п.м.), которая создает предполагаемый уровень помех на геостационарной орбите, вычисляется как:

$$\text{п.п.м.} = I - G_R + 20 \log(f) + 21,45 \quad \text{дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}, \quad (7)$$

где:

- G_R : эффективное усиление (дБи) приемной антенны ФСС в направлении мешающих платформ НАPS;
- f : частота передачи (ГГц).

Затем определяется общая э.и.и.м. всех передач НАPS, которые могут создать эту величину п.п.м. на ГСО:

$$(\text{э.и.и.м.})_{\text{общая}} = \text{п.п.м.} + 10 \log(4\pi d^2) \quad \text{дБ(Вт/МГц)}, \quad (8)$$

где d – расстояние (м) между платформой НАPS и спутником ФСС.

В принципе:

$$(\text{э.и.и.м.})_{\text{общая}} = 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{-0,1(\text{э.и.и.м.})_j} \quad \text{дБ(Вт/МГц)}, \quad (9)$$

где:

- $(\text{э.и.и.м.})_j$: э.и.и.м. от j -й платформы НАPS;
- n : число мешающих платформ НАPS.

Предполагая для простоты, что

$$(\text{э.и.и.м.})_{\text{средняя}} = (\text{э.и.и.м.})_{\text{общая}} - 10 \log(n) \quad \text{дБ(Вт/МГц)}, \quad (10)$$

можно приближенно вычислить среднюю э.и.и.м. от каждой платформы НАPS.

3 Уровни помех от типовых систем НАPS

Помехи, которые могут причиняться спутникам ФСС на геостационарной орбите системами НАPS, можно определить путем сравнения э.и.и.м. в боковом и заднем лепестках передающих антенн НАPS, причем результирующие уровни э.и.и.м. получаются из вышеуказанных вычислений.

Дополнение 1 к Приложению 2

Пример применения методики Приложения 2

1 Введение

В данном примере расчетов рассматриваются две системы ФСС, описанные в п. 2.4.2 Приложения 1, выше. Одна система, осуществляющая прием от главных центральных станций, использует приемную антенну с шириной луча 2° и усилением 39 дБи. Предполагается, что другая система, ведущая прием от небольших, распределенных по всей территории терминалов пользователей, имеет ширину луча $0,3^\circ$ и усиление 55,4 дБи. Предполагается также, что шумовая температура приемных систем обоих видов составляет 500 К, что считается типичной величиной для чувствительных приемников, которые предназначены для реализации.

В данном примере рассматривается плотное размещение систем HAPS. В случае спутника ГСО ФСС с шириной луча антенны 2° предполагается, что мешающие сигналы будут приниматься максимум от 100 платформ HAPS. Некоторые из этих сигналов будут приниматься при максимальном (или близком к максимальному) усилении главного луча, другие будут приниматься при меньшем усилении. В этом примере считается, что каждый из сигналов от 100 платформ HAPS будет приниматься при среднем усилении антенны ФСС на 1 дБ ниже максимума, то есть с усилением 38 дБи.

Аналогичным образом, в случае спутника ГСО ФСС с шириной луча антенны $0,3^\circ$, с которого видно намного меньше платформ HAPS по сравнению с лучом 2° , предполагается, что мешающие сигналы будут приниматься максимум от 3 платформ HAPS и что они будут приниматься при различных уровнях усиления диаграммы направленности антенны. В этом примере считается, что каждый из сигналов от трех платформ HAPS будет приниматься при среднем усилении антенны ФСС на 1 дБ ниже максимума, то есть с усилением 54,4 дБи.

Расстояние между ГСО и ближайшей платформой HAPS принимается равным высоте ГСО минус 20 км высоты платформ HAPS ($35\,788 - 20 = 35\,768$ км).

2 Помехи, испытываемые центральной станцией с лучами шириной 2°

Ширина луча по половинной мощности: $2,0^\circ$

Пиковое усиление спутниковой антенны: 39 дБи

Среднее усиление приемной антенны в случае приема от всех мешающих платформ HAPS: $39 - 1 = 38$ дБи

Предполагаемое число мешающих платформ HAPS в пределах ширины луча 2° : 100

Шумовая температура приемной системы: 500 К

Эталонная полоса пропускания приемника: 1 МГц

Следовательно, мощность шума приемной системы:

$$N = kTB = -228,6 + 10 \log(500) + 10 \log(10^6) = -141,61 \quad \text{дБ(Вт/МГц)}. \quad (11)$$

Предполагая, что мощность помех в этом примере расчетов составляет 1% от мощности шума, отношение I/N будет равно $10 \log(0,01) = -20$ дБ. Тогда:

$$I = N + I/N = -141,61 - 20 = -161,61 \quad \text{дБ(Вт/МГц)}. \quad (12)$$

Величина п.п.м., которая создаст такую мощность помех на орбите, составит:

$$\text{п.п.м.} = (-161,61 - 38 + 29 + 21,45) = -149,2 \quad \text{дБ(Вт/м}^2 \cdot \text{МГц)}. \quad (13)$$

В этом случае:

$$(\text{э.и.и.м.})_{\text{общая}} = -149,2 + 162,1 = 12,92 \quad \text{дБ(Вт/МГц)}.$$

Если эту совокупную мощность помех распределить между 100 платформами HAPS, каждая из таких платформ будет ограничена уровнем $12,92 - 10(\log 100) = 12,92 - 20 = -7,08$ дБ(Вт/МГц).

3 Помехи, испытываемые небольшими терминалами пользователей ФСС с лучами шириной 0,3°

Ширина луча по половинной мощности: 0,3°

Пиковое усиление спутниковой антенны: 55,4 дБи

Среднее усиление приемной антенны в случае приема от всех мешающих платформ HAPS: $55,4 - 1 = 54,4$ дБи

Предполагаемое число мешающих платформ HAPS в пределах ширины луча 0,3°: 3

Шумовая температура приемной системы: 500 К

Эталонная полоса пропускания приемника: 1 МГц

Следовательно, как и выше, мощность шума приемной системы, $N = -141,61$ дБ(Вт/МГц), максимальная мощность помех, $I = -161,61$ дБ(Вт/МГц)

Величина п.п.м., которая создаст такую мощность помех, составит:

$$\text{п.п.м.} = (-161,61 - 54,4 + 29 + 21,45) = -165,6 \quad \text{дБ(Вт/м}^2 \cdot \text{МГц)}. \quad (14)$$

В этом случае:

$$(\text{э.и.и.м.})_{\text{общая}} = -165,6 + 162,1 = -3,5 \quad \text{дБ(Вт/МГц)}.$$

Если эту совокупную мощность помех распределить между 3 платформами HAPS, каждая из таких платформ будет ограничена уровнем $-3,5 - 10(\log 3) = -3,5 - 4,77 = -8,27$ дБ(Вт/МГц).

4 Уровни помех от типовых систем HAPS

Максимальный уровень помех от боковых и задних лепестков антенн для передач HAPS на линии вниз на частоте 28 ГГц можно вычислить исходя из параметров системы HAPS, приведенных в Рекомендации МСЭ-R F.1569.

Передачик на платформе HAPS, предназначенный для обслуживания терминалов пользователей, работающий с углами места до 26°, в условиях дождя, будет иметь выходную мощность 1,8 дБВт с полосой пропускания 150 МГц, потери в фидерной линии 0,5 дБ и усиление антенны 16,4 дБи. При этом обеспечивается максимальная э.и.и.м. 17,7 дБВт в полосе 150 МГц или $17,7 - 10 \log 150 = (17,7 - 21,7) = -4$ дБ(Вт/МГц).

Однако усиление антенны в направлении дальнего бокового и заднего лепестков будет на 10 дБ ниже изотропного усиления. Следовательно, э.и.и.м. от платформы HAPS в направлении ГСО составляет $(-4 - 16,4 - 10) = -30,4$ дБ(Вт/МГц).

Для примеров, приведенных в разделах 2 и 3, выше, э.и.и.м. в направлении ГСО значительно ниже уровней отдельных передач на линии HAPS-Земля $-7,08$ дБ(Вт/МГц) или $-8,27$ дБ(Вт/МГц), что даст в результате значение I/N менее 1% для спутников ФСС при ширине лучей антенн 2,0° или 0,3°.

Приложение 3

Методика оценки отношения C/I , создаваемого передачей на линии НАPS-Земля (линия вниз) в ФС, использующей НАPS, линии Земля-космос (линия вверх) ФСС, использующей ГСО спутники в полосе частот 27,5–28,35 ГГц

1 Введение

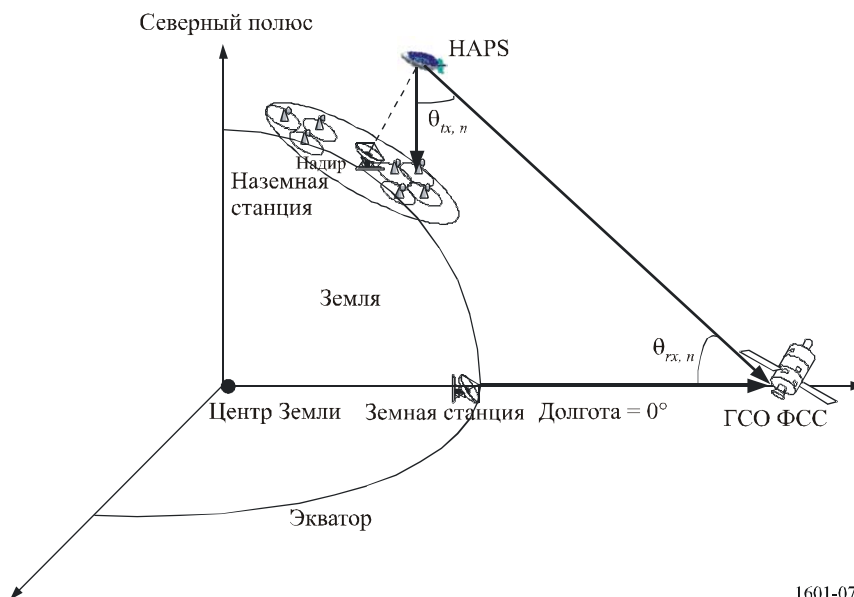
На этапе проектирования спутниковой сети с целью определения уровней помех может быть полезным вычисление отношения мощности несущей к мощности помехи (C/I) между несущими в сетях, создающих помехи и подверженных помехам. Отношения C/I могут использоваться при определении уровней помех, вносящих вклад в ухудшение качественных показателей, и также могут использоваться для всех методов модуляции. В настоящем Приложении представлена методика для оценки помех, создаваемых линией вниз, использующей станции НАPS ФС, линии вверх, использующей ГСО спутники ФСС в полосе частот 27,5–28,35 ГГц, основанная на оценках C/I .

2 Методика оценки C/I

На рисунке 7 показана аналитическая модель, принятая для проведения оценки C/I в спутнике ГСО от помех, создаваемых НАPS.

РИСУНОК 7

Геометрия для вычисления внесевых углов



2.1 Вычисление C/I

Отношение C/I можно вычислить, рассматривая мощность несущей на линии Земля-космос (линия вверх) ФСС, использующей геостационарный (ГСО) спутник C , и общую мощность помех спутнику I_{total} от нескольких воздушных судов HAPS в пределах ширины полосы частот помехи с помощью следующего выражения:

$$\left[\frac{C}{I} \right] = EIRP_{up} - FSL_{E/S-Sat} + G_{Sat} - I_{total} \quad (\text{дБ}), \quad (15)$$

где:

$EIRP_{up}$: эффективная изотропно-излучаемая мощность несущей земной станции в пределах ширины полосы частот помехи (дБВт)

$FSL_{E/S-Sat}$: потери в свободном пространстве между земной станцией и спутником ГСО (дБ)

G_{Sat} : максимальное усиление приемной антенны спутника ГСО (дБи).

Общая мощность помех I_{total} ФСС, использующей геостационарные (ГСО) спутники, от нескольких воздушных судов HAPS в пределах ширины полосы частот помехи определяется как:

$$I_{total} = 10 \log \left[\sum_{h=1}^{n_h} 10^{(I_h)/10} \right] \quad (\text{дБВт}), \quad (16)$$

где n_h – количество воздушных судов HAPS и I_h – мощность помехи ФСС, использующей геостационарный (ГСО) спутник, от одного воздушного судна HAPS.

При рассмотрении антенны воздушного судна HAPS с несколькими сфокусированными лучами мощность помехи I_H вычисляется, используя следующее выражение:

$$I_h = 10 \log \left[\sum_{n=1}^{n_b} 10^{\{P_{HAPS,n} - L_{feeder} + G_{HAPS,n}(\theta_{tx,n}) + G_{Sat}(\theta_{rx,n}) - FSL_{HAPS-Sat}\}/10} \right] \quad (\text{дБВт}), \quad (17)$$

где:

n_b : количество сфокусированных лучей на воздушном судне HAPS

$P_{HAPS,n}$: мощность передачи для n -ого луча воздушного судна HAPS (дБВт)

L_{feeder} : потери в фидере HAPS (дБ)

$G_{HAPS,n}(\theta_{tx,n})$: усиление n -ого луча передающей антенны воздушного судна HAPS для внеосевого угла $\theta_{tx,n}$ (дБи)

$G_{Sat}(\theta_{rx,n})$: усиление приемной антенны спутника ГСО для внеосевого угла $\theta_{rx,n}$ (дБи)

$FSL_{HAPS-Sat}$: потери в свободном пространстве на трассе между воздушным судном HAPS и спутником ГСО (дБ).

2.2 Вычисление внеосевого угла

Для определения мощности помех в выражении (17) необходимо рассчитать значения внеосевых углов $\theta_{tx,n}$ и $\theta_{rx,n}$. Для облегчения вычислений внеосевых углов координаты всех сфокусированных лучей HAPS и спутника ФСС преобразованы из полярных координат в прямоугольную систему координат в экваториальной плоскости с центром координат в центре Земли.

Если \mathbf{A} – вектор от воздушного судна НАPS на спутник ГСО ФСС, а \mathbf{B} – вектор от центра n -ого сфокусированного луча воздушного судна НАPS к его наземной станции, то внеосевой угол $\theta_{ix,n}$ между \mathbf{A} и \mathbf{B} (измеренный на воздушном судне НАPS) выражается как:

$$\theta_{ix,n} = \cos^{-1} \left(\frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{|\mathbf{A}| |\mathbf{B}|} \right) \quad \text{градусы,} \quad (18)$$

как показано на рисунке 7. $|\mathbf{A}|$ и $|\mathbf{B}|$ – абсолютные значения \mathbf{A} и \mathbf{B} , и $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$ – скалярное произведение двух векторов. Например, для \mathbf{A} и \mathbf{B} , выраженных в прямоугольных координатах,

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z. \quad (19)$$

Аналогично другой угол $\theta_{ix,n}$ может быть получен, используя уравнение (18) путем замены \mathbf{A} и \mathbf{B} на $-\mathbf{A}$ и $-\mathbf{C}$, где $-\mathbf{A}$ – вектор от спутника ГСО ФСС до воздушного судна НАPS, а \mathbf{C} – вектор от земной станции в центре зоны покрытия НАPS до спутника ГСО ФСС.

Дополнение 1 к Приложению 3

Пример применения методики Приложения 3

1 Параметры системы НАPS

В таблице 3 приведены параметры системы НАPS, используемые в данном примере для вычислений СИ.

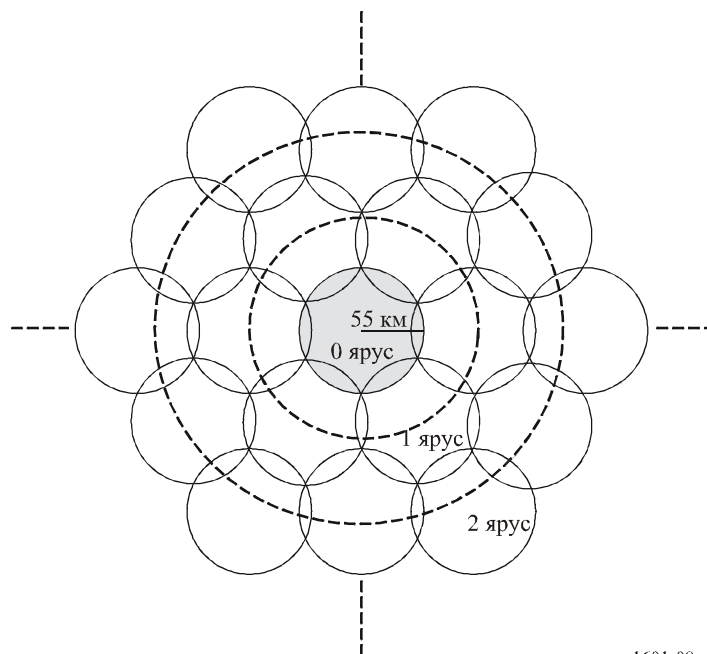
ТАБЛИЦА 3
Параметры НАPS

Высота НАPS	20 км
Зона обслуживания (радиус)	55 км
Выходная мощность на луч	от -15,2 дБВт до -14,5 дБВт
Диаграмма направленности антенны	Рек. МСЭ-R F.1569
Потери в фидере	0,5 дБ
Общее количество лучей на каждую антенну НАPS	367

В этом примере, как показано на рисунке 8, для охвата широкомасштабной зоны на земле может быть развернуто несколько воздушных судов. В этих же целях каждое воздушное судно под основанием также оборудовано антенной с несколькими сфокусированными лучами. Общее количество лучей каждой антенны и общее количество воздушных судов для расчета помех в данном Приложении равно 367 и 127, соответственно.

РИСУНОК 8

Способ развертывания воздушных судов HAPS



2 Параметры спутниковой системы ГСО

Для примера вычисления C/I использованы параметры спутниковой системы ГСО на основе Рекомендации МСЭ-R S.1328-3, как показано в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Параметры спутниковой системы ГСО

Высота спутника ГСО	35 768 км
Максимальное усиление приемной антенны спутника	55 дБи для ширины луча антенны $0,3^\circ$ 38,5 дБи для ширины луча антенны 2°
Диаграмма направленности антенны	Рек. МСЭ-R S.672 (предполагается L_s : -20 дБ)
э.и.и.м. линии вверх	66,1 дБВт

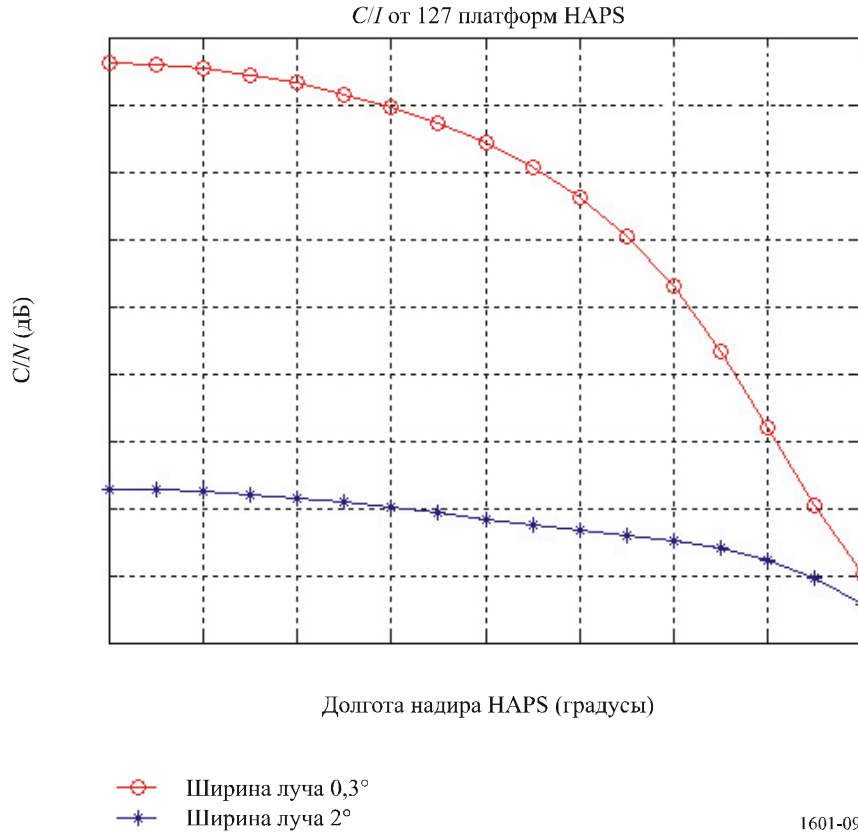
3 Результаты вычисления

3.1 Вариант 1

В Варианте 1 предполагается, что спутник, подверженный помехам, расположен на экваторе с долготой 0 градусов и лучом спутника, всегда направленным на земную станцию, которая всегда располагается в центре зоны покрытия HAPS. Предполагается, что система HAPS состоит из 127 воздушных судов с 367-лучевой антенной и зоной обслуживания одного воздушного судна радиусом 55 км.

На рисунке 9 можно видеть, что при перемещении системы HAPS к северному полюсу отношение C/I для спутника ГСО уменьшается.

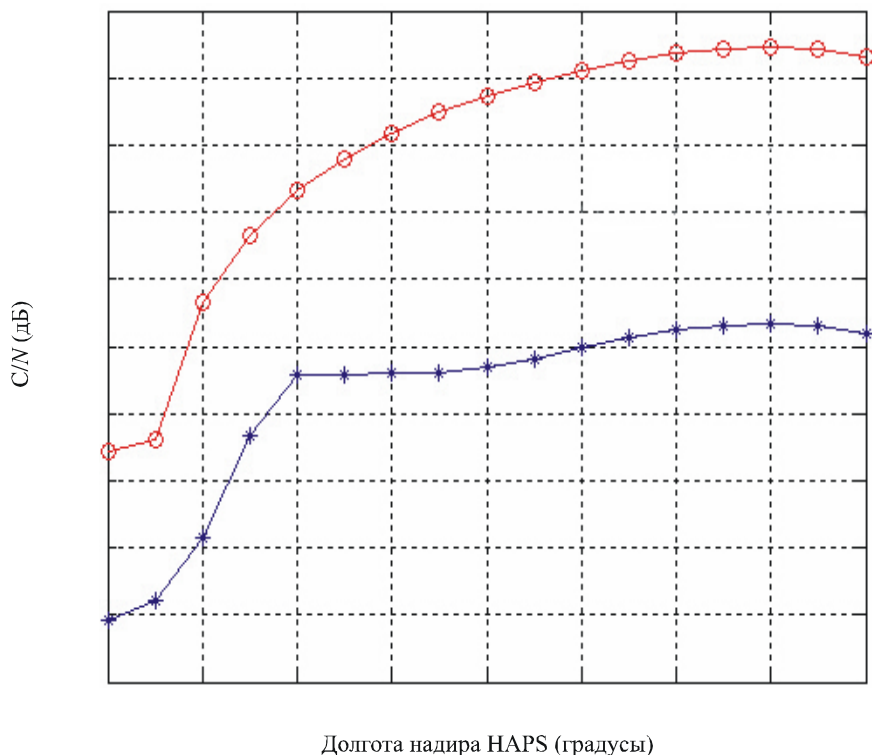
РИСУНОК 9

 C/I ГСО от 127 воздушных судов HAPS (Вариант 1)**3.2 Вариант 2**

В Варианте 2 предполагается, что спутник, подверженный помехам, расположен на экваторе с долготой 0 градусов, а луч спутника нацелен на земную станцию с долготой 0 градусов и широтой 0 градусов, то есть земная станция расположена в фиксированном положении на экваторе.

На рисунке 10 показано отношение C/I для спутника ГСО от системы HAPS, состоящей из 127 воздушных судов в зависимости от широты. На рисунке 10 можно видеть, что при перемещении системы HAPS к северному полюсу значение C/I спутника ГСО увеличивается по сравнению с результатом Варианта 1.

РИСУНОК 10

C/I* ГСО от 127 воздушных судов HAPS (Вариант 2)C/I* от 127 платформ HAPS

—○— Ширина луча 0,3°
 —*— Ширина луча 2°

1601-10

4 Резюме

В данном Приложении представлен пример C/I (отношение мощности несущей к мощности помехи) метода оценки помех спутнику ГСО от воздушных судов HAPS.

В случае земной станции, расположенной в точке надира HAPS (Вариант 1), значение C/I ухудшается с увеличением широты (то есть, при уменьшении угла места спутника). Напротив, для случая земной станции, расположенной в фиксированном пункте на экваторе, значение C/I увеличивается с увеличением широты.

Необходим метод оценки C/I для вычисления помех линии вверх ГСО ФСС, использующей спутники в полосе частот 27,5–28,35 ГГц, от линии вниз ФС, использующей HAPS, при определении уровней помех, влияющих на ухудшение качественных показателей с учетом всех методов модуляции и типов сигнала.