

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1819

**Защита радиоастрономической службы в полосе 48,94–49,04 ГГц от
нежелательных излучений станций на высотной платформе (HAPS)
в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц***

(2007)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводится минимальное расстояние разнеса между радиоастрономической станцией и надиром станции на высотной платформе (HAPS) для защиты радиоастрономических станций, действующих в полосе 48,94–49,04 ГГц, от нежелательных излучений HAPS, работающих в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц.

Сокращения

HAPS Станции на высотной платформе

RAC Радиоастрономическая служба

UAC Городская зона покрытия

SAC Пригородная зона покрытия

RAC Сельская зона покрытия

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что разрабатываются новые технологии на основе использования станций на высотной платформе (HAPS) в стратосфере;
- b) что на ВКР-97 приняты положения, касающиеся работы HAPS в фиксированной службе в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц;
- c) что в Рекомендации МСЭ-R F.1500 содержатся характеристики систем фиксированной службы на базе HAPS, действующих в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц;
- d) что необходимо обеспечить защиту радиоастрономической службы (RAC), действующей в полосах 48,94–49,04 ГГц;
- e) что в Резолюции 122 (Пересм.ВКР-03) содержится просьба о проведении исследований совместного использования частот радиоастрономической службой и системами на базе HAPS, применяющими вышеуказанные полосы,

рекомендует,

1 что для обеспечения защиты радиоастрономических станций, действующих в полосе 48,94–49,04 ГГц, от нежелательных излучений HAPS, работающих в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц, расстояние разнеса между радиоастрономической станцией и надиром платформы HAPS должно превышать 50 км (см. Приложение 1).

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 7-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

Приложение 1

Методика определения минимального расстояния разноса между антенной РАС и надиром платформы HAPS

1 Введение

В настоящей Рекомендации приводятся результаты исследований совместного использования частот станциями на высотной платформе (HAPS), предоставляющими службы фиксированного беспроводного доступа (ФБД) в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц, и радиоастрономической службой (РАС) в полосе 48,94–49,04 ГГц (п. 5.555В РР), которые используются только для радиоастрономических наблюдений спектральных линий. На основе результатов исследования предлагается минимальное расстояние разноса для защиты РАС.

2 Характеристики системы

2.1 Система на базе HAPS

Используемые в настоящем анализе параметры приведены в Рекомендации МСЭ-R F.1500.

2.2 Пороговые уровни помех, недопустимых для радиоастрономической службы

Предлагаемый пороговый уровень спектральной плотности потока мощности (с.п.п.м.) для защиты станции РАС при усилении бокового лепестка антенны 0 дБи равен -209 дБ(Вт/(м²·Гц)) или -149 дБ(Вт/(м²·МГц)). Для того чтобы определить, превышает ли помеха допустимый пороговый уровень, необходимо учитывать фактическое усиление антенны РАС G .

Антенны РАС, в основном, обладают чрезвычайно высоким усилением, порядка 70–80 дБи. В характеристике модели антенны, описанной в Рекомендации МСЭ-R SA.509, уровень бокового лепестка при угле 5° к оси главного лепестка равен 15 дБи. Уровень бокового лепестка при угле 19,05° к оси главного лепестка составляет 0 дБи. В связи с тем что главный лепесток является узким, помеха радиоастрономической станции почти всегда принимается антенной через ее боковые лепестки. Таким образом, предполагается, что платформа HAPS не будет располагаться под углом меньше 5° к оси главного лепестка антенны РАС, то есть характеристика главного лепестка в присутствии помехи в настоящем исследовании не учитывается. Очевидно, что было бы желательно, чтобы платформа HAPS располагалась под углом не менее 20° к оси главного лепестка антенны, но это не всегда практически осуществимо. Поэтому в настоящем исследовании критерий помехи берется равным -164 (Вт/(м²·Гц)), чтобы усиление бокового лепестка антенны РАС могло быть равно 15 дБи.

2.3 Методы ослабления влияния помех

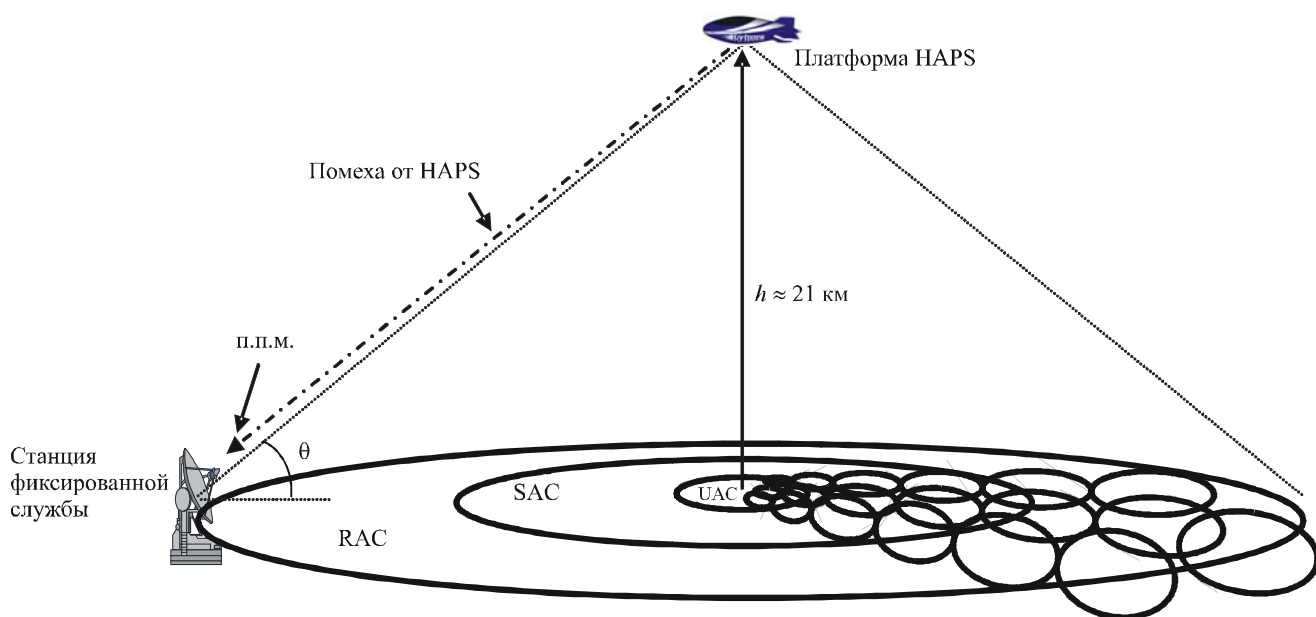
Каждая антенна платформы HAPS содержит 12-секционный волноводный полосовой фильтр Чебышева с коэффициентом режекции в полосе заграждения выше 70 дБ для нежелательных излучений на частотах за пределами полосы пропускания, четырехкратно превышающих ширину полосы по уровню 3 дБ. Для дополнительного ослабления влияния возможной помехи РАС в диапазоне 49 ГГц также имеется интегрированный 5-секционный полосно-заграждающий фильтр (фильтр-пробка) Чебышева с глубиной режекции -25 дБ в полосе заграждения шириной 100 МГц. Данный метод обеспечивает общий коэффициент режекции в полосе заграждения более 95 дБ для защиты диапазона 49 ГГц РАС.

2.4 Сценарий помех

Предполагаемый сценарий помех показан на рисунке 1. Согласно настоящему сценарию, радиоастрономическая наземная станция, которая принимает сигнал помехи, излучаемый платформой HAPS, расположена либо на краю, либо за краем зоны покрытия HAPS. Рассчитывается сигнал совокупной помехи от всех передатчиков на борту платформы HAPS, который дает значение верхнего предела плотности потока мощности (п.п.м.).

РИСУНОК 1

Помехи станции РАС, создаваемые платформой HAPS



1819-01

Области UAC, SAC и RAC обозначают, соответственно, городскую, пригородную и сельскую зоны покрытия HAPS.

2.5 Основные потери при передаче

Согласно Рекомендации МСЭ-R P.619, основные потери при передаче L_b в направлении от единичной антенны станции на высотной платформе на станцию РАС, можно выразить как:

$$L_b = 92,5 + 20 \log f + 20 \log d + A_g + A_D - G_S \quad \text{дБ}, \quad (1)$$

где:

f : частота (ГГц)

d : длина трассы (км)

A_g : ослабление, вызванное атмосферными газами (дБ)

A_D : ослабление, вызванное уширением луча (дБ)

G_S : усиление, вызванное мерцанием (дБ)

Для расчета атмосферного ослабления используется Рекомендация МСЭ-R F.1501. При анализе помех интерес представляет только формула для минимального ослабления, и, поэтому, для анализа наихудшего случая выбирается формула для ослабления A_H в высокоширотных регионах (свыше 45°) в диапазоне 47,2 ГГц.

$$A_H(h, \theta) = 46,70/[1 + 0,6872 \theta + 0,03637 \theta^2 - 0,001105 \theta^3 + 0,8087 \times 10^{-5} \theta^4 + h(0,2472 + 0,1819 \theta) + h^2(0,04858 + 0,03221 \theta)] \quad (2)$$

Эта формула справедлива при $0 \leq h \leq 3$ км и $0 \leq \theta \leq 90^\circ$, где θ (градусов) является углом места наземной станции по отношению к платформе HAPS, а h (км) – это высота наземной станции над уровнем моря. Если фактический угол места ниже 0° , следует использовать формулу для ослабления при 0° .

В настоящем исследовании при анализе наихудшего случая не учитывается ослабление, вызванное уширением луча.

Усиление за счет мерцания, G_S , представляет собой функцию от частоты, диаметра антенны земной станции и местного климата, и его можно рассчитать на основе прогнозируемой интенсивности тропосферного мерцания. Апертура приемной антенны играет роль в смягчении воздействия колебаний коэффициента отражения; чем больше апертура антенны по отношению к первой зоне Френеля, тем меньше усредненный по апертуре приемника коэффициент усиления, который всегда меньше единицы. Для типовой антенны РАС усредненный по апертуре коэффициент усиления составляет 0,1–0,7 вдоль оси главного лепестка. При внеосевом приеме усредненный коэффициент приблизительно равен единице.

В связи с тем что минимальный угол места платформы HAPS будет больше 5° , в настоящее время нет указаний относительно того, как оценивать усиление за счет мерцания в диапазоне 49 ГГц. Однако в качестве руководства для оценки стандартного отклонения амплитуды мерцания используется уравнение (25) из Рекомендации МСЭ-R P.618:

$$\sigma(f, \theta, D) = \sigma_{reference}(f_0, \theta_0, D_0) \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{7/12} \cdot \left(\frac{\sin(\theta_0)}{\sin(\theta)}\right)^{1,2} \cdot \frac{G(D)}{G(D_0)}, \quad (3)$$

где $\sigma_{reference}(f_0, \theta_0, D_0)$ – эталонное стандартное отклонение амплитуды мерцания на частоте f_0 , при угле места θ_0 и диаметре апертуры D_0 ; $G(D)$ – усредненный по апертуре коэффициент усиления за счет мерцания, а f , θ , и D – частота, угол места и апертура антенны рассматриваемой станции РАС.

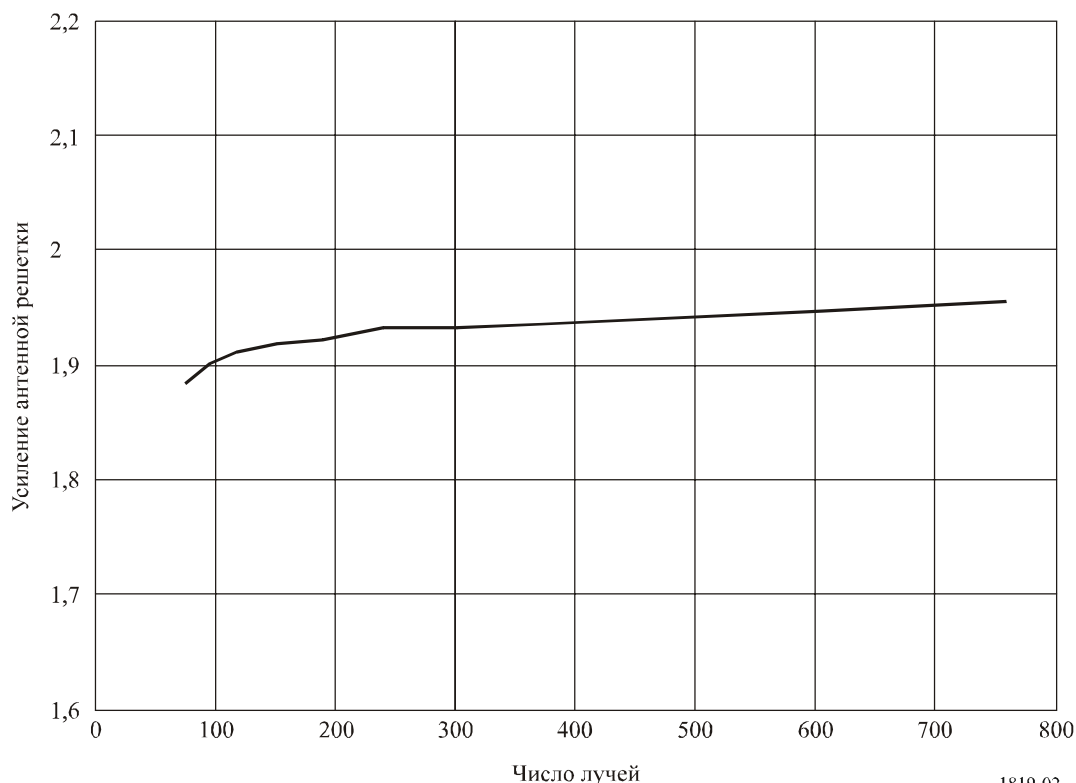
В п. 4.4 Рекомендации МСЭ-R P.452 также приводится уравнение для расчета потерь при передаче между станциями на поверхности Земли, вызванных тропосферным рассеянием, которые не превышаются для процента времени $p\%$. Однако потери за счет тропосферного рассеяния применимы только для тропосферных трасс (Примечание 2, п. 4.4 Рек. МСЭ-R P.452), что в случае платформ HAPS составляет более 500 км от надира. В связи с этим, поскольку расчетное минимальное расстояние разноса меньше этой величины, потерями за счет тропосферного рассеяния можно пренебречь. То же самое относится и к другим потерям в тропосфере, таким как потери при волноводном распространении и потери на дифракцию.

2.6 Результаты исследования

Для расчета уровня совокупной помехи от платформы HAPS в первую очередь должен быть рассчитан коэффициент усиления антенной решетки, чтобы получить значение эффективного усиления передающей антенны G_t , позволяющий получить уровень общей мощности передачи до всех потерь, приведенных в уравнении (1). Коэффициент усиления антенной решетки рассчитывается исходя из предположения, что антенны HAPS расположены в виде гексагональной решетки на полусферической поверхности, принимая во внимание, что антенная решетка не займет всю полусферу даже при минимальном нулевом угле места. Таким образом, данный расчет соответствует верхней границе предела с.п.п.м. Еще одно упрощающее предположение заключается в том, что все другие антенны в РАС заменяются антеннами в SAC с более низким усилением, за исключением одной антенны, ориентированной в направлении приемника наземной станции, испытывающего помеху. В отличие от сценария помех на совпадающей частоте все антенны платформы HAPS вносят вклад в нежелательное излучение на частотах РАС в полосе 48,94–49,04 ГГц. Фактическая мощность помехи рассчитывается путем умножения усиления единичной антенны (не в дБи) на коэффициент усиления антенной решетки.

РИСУНОК 2

Зависимость коэффициента усиления антенной решетки от общего числа лучей HAPS



1819-02

На рисунке 2 показано, что почти независимо от числа лучей HAPS расчетный коэффициент усиления антенной решетки приближается к двум. В связи с этим уровень мощности помехи до всех потерь можно оценить, представив, что только одна антенна HAPS направлена прямо на антенну станции РАС, и умножив результирующий уровень мощности на коэффициент усиления антенной решетки. Поскольку коэффициент усиления антенной решетки всегда меньше двух, то для целей настоящего расчета коэффициент усиления антенной решетки принимается равным двум.

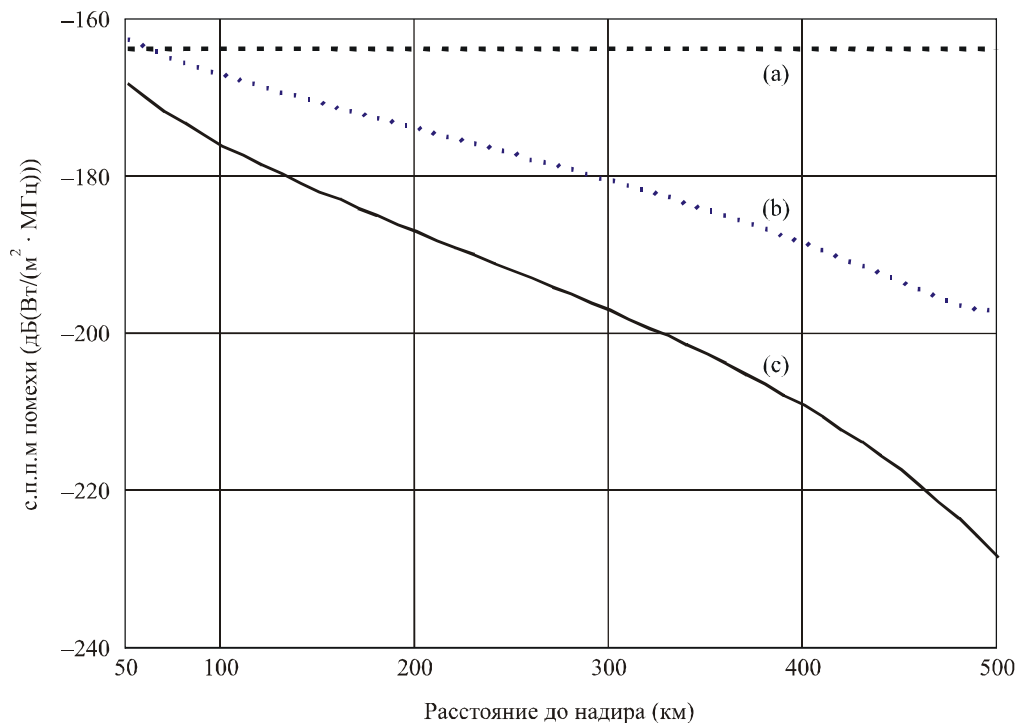
На рисунке 3 ниже показана оценка верхней границы с.п.п.м. помехи, которую, как ожидается, будет испытывать станция РАС на расстоянии от 50 км до 500 км от надира платформы HAPS. Для получения окончательных результатов предполагается, что ширина полосы передачи равна 11 МГц, суммарные потери в кабеле/фидере составляют 5 дБ, а общее ослабление в полосе заграждения равно 95 дБ. Расчетное значение с.п.п.м. находится в пределах от $-176,3$ дБ(Вт/(м² · МГц)) до $-236,6$ дБ(Вт/(м² · МГц)) для расстояний от 50 км до 500 км, соответственно, как показано на сплошной кривой.

Чтобы как-то оценить воздействие тропосферного мерцания, данные долговременных измерений, полученные Исфагорской радиостанцией, Шпицберген, в течение лета 1982 года при угле места $3,2^\circ$, были экстраполированы для диапазона 49 ГГц и для других углов места с использованием уравнения (3) из Рекомендации МСЭ-R F.1501. Отметим, что уравнение (3) не рекомендуется использовать при углах места меньше 4° и при частотах выше 20 ГГц. Таким образом, его использование не вполне корректно и предназначено только для получения грубой оценки. Данные измерений на Шпицбергене показывают, что усиление амплитуды за счет мерцания превосходит 12 дБ в течение не более чем 0,001 процента времени. Пунктирная кривая показывает добавленное экстраполированное значение усиления за счет тропосферного мерцания, учитывающее увеличение помехи, вызванное тропосферным рассеянием радиоволн в диапазоне 49 ГГц, в то время как непрерывная кривая представляет собой уровень помехи при нулевом усилении за счет мерцания. Чтобы получить оценку для наихудшего случая, усредненный коэффициент усиления антенны РАС $G(D)$, который всегда меньше единицы, в настоящем исследовании не учитывается. В этом случае уровень с.п.п.м. помехи находится в пределах от $-172,0$ дБ(Вт/(м² · МГц)) до $-212,5$ дБ(Вт/(м² · МГц)). Более ярко выраженное увеличение п.п.м. помехи отражает большое

возрастание уровня радиосигнала при низких углах места. Если не добавлять усиление за счет мерцания, то граница с.п.п.м. находится ниже величины с.п.п.м. $-164 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}$, соответствующей порогу защиты РАС. При добавлении усиления за счет мерцания минимальное расстояние разноса составляет порядка 51 км. Однако если платформа HAPS может находиться под углом более 5° к оси главного лепестка антенны РАС, то, по всей вероятности, минимальным расстоянием разноса можно пренебречь даже при наличии мерцания. Значение с.п.п.м. резко убывает, когда расстояние становится больше 200 км, что выражено быстрым увеличением ослабления в атмосфере. Угол места, соответствующий расстоянию 200 км от надира, составляет порядка 5° . Приведенный выше расчет основан на предположении, что наземная станция фиксированной службы, которая испытывает помехи, расположена на уровне моря. Наземная станция фиксированной службы, расположенная выше уровня моря, будет принимать помехи с более высокими уровнями вследствие пониженного ослабления в атмосфере.

РИСУНОК 3

Зависимость уровня с.п.п.м., принимаемой антенной РАС, от расстояния до надира



Кривая (a): Порог защиты РАС

Кривая (b): Уровень помехи с учетом усиления за счет мерцания

Кривая (c): Уровень помехи при нулевом усилении за счет мерцания

1819-03

3 Минимальное расстояние разноса между антенной РАС и надиром станции на высотной платформе для защиты радиоастрономической службы

Предлагается, что в целях защиты радиоастрономических наблюдений в полосе 48,94–49,04 ГГц от платформы HAPS, действующей в полосах частот 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц, расстояние разноса между антенной РАС и надиром платформы HAPS должно превышать 50 км.