

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1820

Значения плотности потока мощности на межгосударственных границах для станций на высотной платформе, предоставляющих услуги фиксированного беспроводного доступа, для защиты фиксированной службы в соседних странах в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц

(Вопрос МСЭ-R 212/9)

(2007)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводятся значения плотности потока мощности, предназначенные для защиты обычных станций фиксированной службы администраций соседних стран от помех на совпадающих частотах со стороны станции на высотной платформе (HAPS), действующей в полосах частот 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц.

Сокращения

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 ВКР-97 определила полосы 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц для использования фиксированной службой на равной первичной основе для развертывания HAPS;
- c) что в Рекомендации МСЭ-R F.1500 содержатся характеристики систем фиксированной службы, в которых планируется использовать HAPS, в полосах 47,2–47,5 ГГц и 48,2–48,5 ГГц;
- d) что хотя решение о развертывании HAPS может быть принято на национальном уровне, развертывание таких станций может затронуть соседние администрации, в особенности администрации небольших стран,

рекомендует,

1 что в целях защиты обычных станций фиксированной службы в соседних администрациях от помех на совпадающих частотах, с учетом описанной в Приложении 1 методики, система HAPS, работающая в полосах частот 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц, не должна превышать следующие значения плотности потока мощности (п.п.м.) у поверхности Земли за пределами границы администрации, если только во время заявления HAPS не получено явное согласие затронутой администрации:

–141	дБ(Вт/(м ² · МГц))	при $0^\circ \leq \theta \leq 3^\circ$
–141 + 2,0(θ – 3)	дБ(Вт/(м ² · МГц))	при $3^\circ < \theta \leq 13^\circ$
–121	дБ(Вт/(м ² · МГц))	при $13^\circ < \theta \leq 90^\circ$,

где θ – угол прихода над горизонтальной плоскостью Земли.

Приложение 1

Методика определения значений п.п.м. на межгосударственных границах для NAPS, предоставляющих услуги фиксированного беспроводного доступа, для защиты фиксированной службы в соседних странах в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц

1 Введение

В настоящем Приложении описывается методика определения значений п.п.м. на межгосударственных границах для NAPS, предоставляющих услуги фиксированного беспроводного доступа, для защиты обычных станций фиксированной службы в соседних странах в полосах 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц, а также пределов п.п.м. на межгосударственных границах для NAPS, на основе характеристик NAPS, приведенных в Рекомендации МСЭ-R F.1500.

2 Характеристики системы

2.1 Система на базе высотной платформы

Используемые в настоящем анализе параметры приведены в Рекомендации МСЭ-R F.1500 и являются следующими:

ТАБЛИЦА 1
Зоны покрытия NAPS

Зона покрытия	Углы места (градусы)	Земная дальность (платформа на высоте 21 км) (км)
UAC	90–30	0–36
SAC	30–15	36–76,5
RAC	15–5	76,5–203

ТАБЛИЦА 2
Параметры передатчика станции на платформе

Связь с	Мощность передатчика (дБВт)	Усиление антенны (дБи) ⁽¹⁾
UAC	1,3	30
SAC	1,3	30
RAC	3,5	38
Шлюз (UAC)	0	35
Шлюз (SAC)	9,7	38

(1) Максимальные значения усиления антенн.

2.2 Диаграммы направленности антенн

Диаграммы направленности антенн, установленных на платформе, соответствуют Рекомендации МСЭ-R S.672.

2.3 Атмосферное ослабление

Формулы для расчета атмосферного ослабления взяты из Рекомендации МСЭ-R F.1501. При анализе помех интерес представляет только формула для минимального ослабления, и, поэтому, для анализа наихудшего случая выбирается формула для ослабления в высокоширотных регионах в диапазоне 47,2 ГГц.

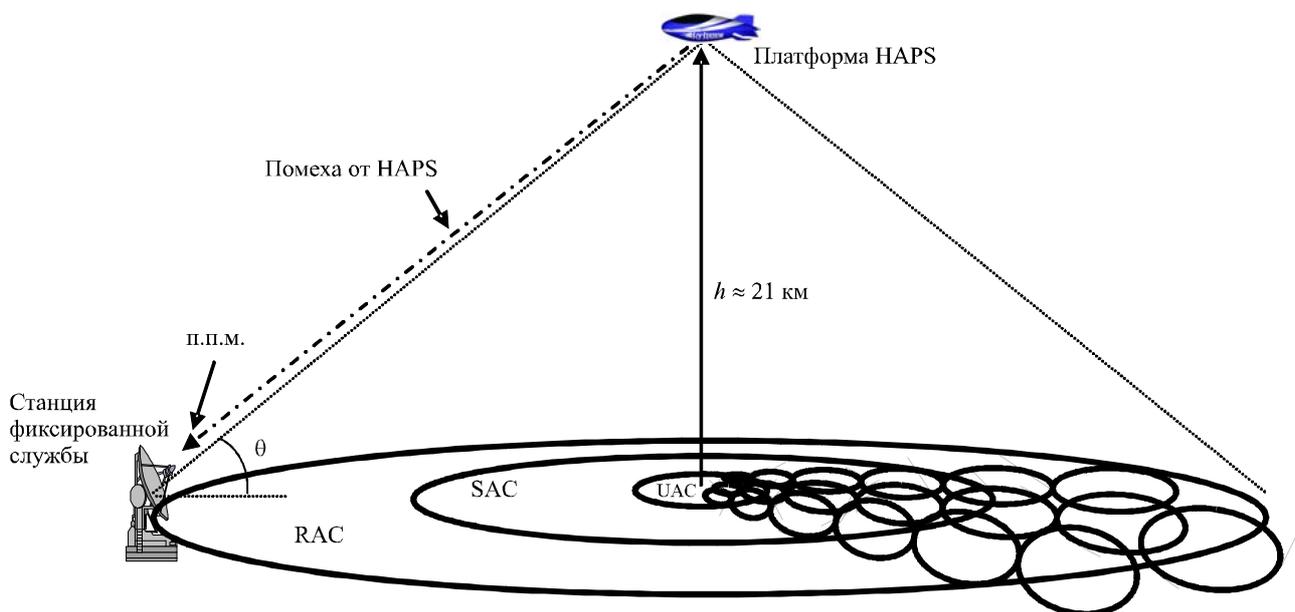
$$A_H(h, \theta) = 46,70 / [1 + 0,6872 \theta + 0,03637 \theta^2 - 0,001105 \theta^3 + 0,8087 \times 10^{-5} \theta^4] + h(0,2472 + 0,1819 \theta) + h^2(0,04858 + 0,03221 \theta) \quad (1)$$

Эта формула справедлива при $0 \leq h \leq 30$ км и $0 \leq \theta \leq 90^\circ$, где θ (градусов) – угол 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 угле места 0° .

2.4 Сценарий помех

Предполагаемый сценарий помех показан на рисунке 1. Согласно настоящему сценарию, станция фиксированной службы соседней администрации, которая принимает сигнал помехи, излучаемый HAPS, расположена либо на краю, либо за краем зоны покрытия HAPS. Рассчитывается сигнал совокупной помехи от всех передатчиков на борту HAPS, который дает значение граничной оценки плотности потока мощности (п.п.м.).

РИСУНОК 1
Сценарий помех



1820-01

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

Ожидаемая плотность потока принимаемой мощности наземной станции может быть рассчитана из уравнения (2), используемого в Рекомендации МСЭ-R SF.1481-1:

$$fdr = P + Gt - Ltf - La - Lp - 10 \log B - 10 \log (4\pi d^2) - 60 \text{ дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{МГц})), \quad (2)$$

где:

- fdr : ожидаемая плотность потока принимаемой мощности несущей (дБ(Вт/(м² · МГц)))
- P : выходная мощность передатчика (дБВт)
- B : ширина полосы на выходе передатчика (дБМГц)
- Gt : усиление передающей антенны (дБи)
- Ltf : потери в фидере антенны (дБ)
- Gr : усиление приемной антенны (дБи)
- La : поглощение в атмосфере при определенном угле места (дБ)
- Lp : ослабление, вызванное влиянием других условий распространения (дБ)
- λ : длина волны (м)
- d : расстояние между HAPS и приемником наземной станции (км).

Допустимый уровень п.п.м. для станции фиксированной службы может быть получен из типовых характеристик станции фиксированной службы, приведенных в таблице 3 (таблица 27 Рекомендации МСЭ-R F.758-4):

ТАБЛИЦА 3
Параметры приемника ФС

Максимальное усиление антенны (дБи)	46
Диаметр антенны (м)	0,9
Коэффициент шума приемника (дБ)	5
Модуляция	256 КАМ
Полоса частот (ГГц)	47,2–50,2
Полоса пропускания приемника по ПЧ (МГц)	50
Номинальный уровень долговременной помехи (дБВт)	-132
Полученное значение критерия помехи (дБ(Вт/МГц))	-149

Критерий помехи из таблицы 3, в основном, отражает критерий, равный тепловому шуму минус 10 дБ, при котором ухудшение отношения сигнал/шум на входе приемника составляет не более 0,4 дБ. Для оценки предела п.п.м. следует рассчитать эффективную апертуру идеальной антенны, имеющей такое же усиление. Используя формулу для идеальной антенны, имеем:

$$D_{effective} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot 10^{0,05 \cdot G_{FS}}, \quad (3)$$

где D – диаметр эффективной апертуры идеальной антенны, G_{FS} – фактическое максимальное усиление антенны и λ – длина волны передаваемого радиочастотного сигнала. Предел п.п.м. для помехи от платформы HAPS в направлении максимума диаграммы направленности можно определить как:

$$\begin{aligned} PFD_{limit} &= (Interference_criterion) - 10 \log \left(\frac{\pi \cdot D_{effective}^2}{4} \right) \\ &= (Interference_criterion) - G_{FS} - 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \\ &= -140,02 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))} \end{aligned} \quad (4)$$

Для вычисления уровня совокупной помехи от платформы HAPS сперва надо рассчитать множитель решетки из уравнения (5), чтобы получить эффективное усиление передающей антенны Gt .

Множитель решетки вычисляется исходя из предположения, что антенны HAPS расположены в форме гексагональной решетки на полусферической поверхности и с учетом того, что антенная решетка не займет всю полусферу, даже при минимальном нулевом угле места, и, таким образом, результат настоящего вычисления соответствует верхней граничной оценке предела п.п.м. Еще одно упрощающее предположение заключается в том, что все другие антенны в RAC заменяются антеннами в SAC с меньшим усилением, за исключением одной антенны, которая направлена непосредственно на испытывающий помеху приемник наземной станции. Данное предположение означает увеличение связи между соседними лучами на совпадающей частоте, потому что у антенн с меньшим усилением более высокие уровни боковых лепестков. Применяется план с повторным использованием семи частот, соответствующий Рекомендации МСЭ-R F.1500.

На рисунках 2 и 3 показан пример расчета множителя решетки для платформы HAPS на основе параметров из таблицы 3, за исключением того, что значения усиления антенн в UAC и SAC могут изменяться по отношению к значениям, приведенным в таблице 3, на величину от 10 до 0 дБ.

Очевидно, что общее число антенн зависит от ширины диаграммы направленности отдельной антенны; чем больше ширина диаграммы направленности, тем меньше это число. Эта зависимость отражена на рисунке 2. В этом вычислении число антенн в решетке определяется шириной полосы отдельной антенны, потому что лучи отделены друг от друга полосой с шириной по уровню -3 дБ, чтобы получить оптимальное равномерное покрытие. Следовательно, чем меньше усиление одной антенны, тем меньше число антенн.

Если все антенны в решетке имеют одинаковое усиление, тогда имеем приблизительно:

$$\text{Number_of_antennas} \approx \frac{1 - \sin(\theta_{\text{elevation}})}{1 - \cos\left(\frac{\theta_{\text{beamwidth}}}{2}\right)},$$

где $\theta_{\text{elevation}}$ – минимальный угол места решетки, а $\theta_{\text{beamwidth}}$ – ширина диаграммы направленности отдельной антенны по уровню -3 дБи. Можно увидеть, что чем выше усиление отдельной антенны, тем меньше половина ширины диаграммы направленности, и, следовательно, для получения покрытия по уровню -3 дБ требуется большее число антенн. Если используется меньшее число антенн, то соседние лучи будут пересекаться по уровню ниже -3 дБи, и соответственно, покрытие на границе зоны будет хуже. Число антенн на рисунке 2 взято из реального моделирования и поэтому немного отличается от приведенной выше формулы.

Множитель решетки на рисунке 3 рассчитан путем сложения всех величин усиления боковых лепестков других антенн с величиной усиления в направлении максимума диаграммы направленности антенны, нацеленной на наземную станцию фиксированной службы и, далее, деления результата на усиление в направлении максимума диаграммы направленности антенны. Используя множитель решетки, можно рассчитать п.п.м. из уравнения (5) для одной антенны путем замены усиления одной антенны на усиление антенны, помноженное на множитель решетки.

В связи с тем, что вычисленное значение множителя решетки составляет около 1,1, это означает, что эффективное усиление одной антенны должно быть приблизительно 11 000 или 40,4 дБи.

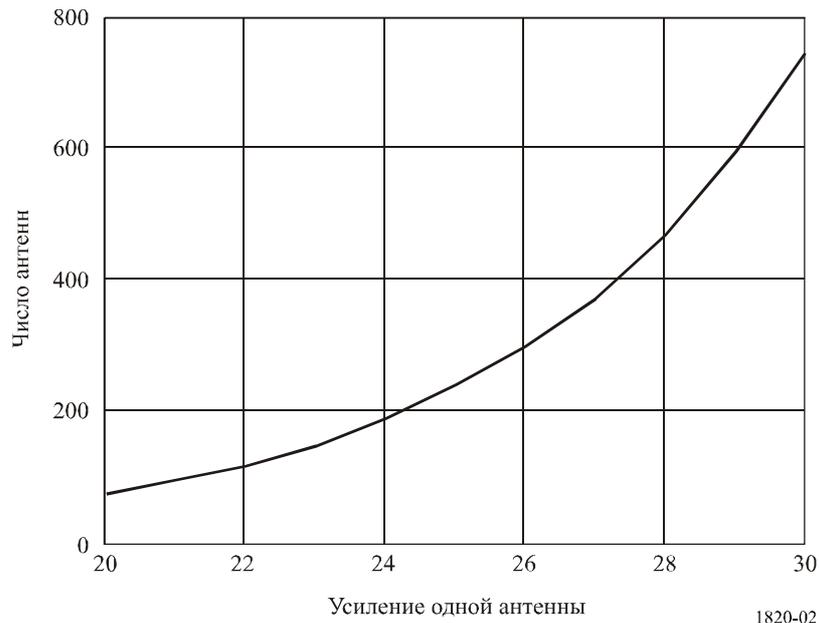
В частности:

$$\text{Array_factor} = \frac{\sum G_n(\Psi_n)}{G_0(0)}, \quad (5)$$

где $G_0(0)$ соответствует усилению в направлении максимума диаграммы направленности, создаваемому антенной HAPS, которая направлена непосредственно на станцию фиксированной службы, а n охватывает все остальные антенны на совпадающих частотах. Значения усиления для антенн на совпадающих частотах представляют собой значения усиления в направлении боковых лепестков при соответствующих углах.

РИСУНОК 2

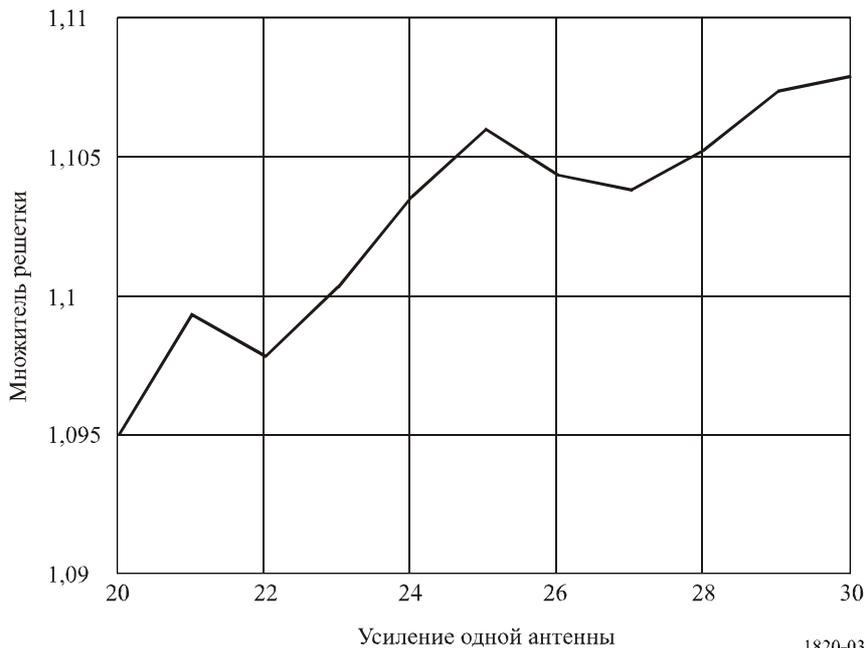
Зависимость числа антенн от усиления одной антенны



1820-02

РИСУНОК 3

Зависимость множителя решетки от усиления одной антенны



1820-03

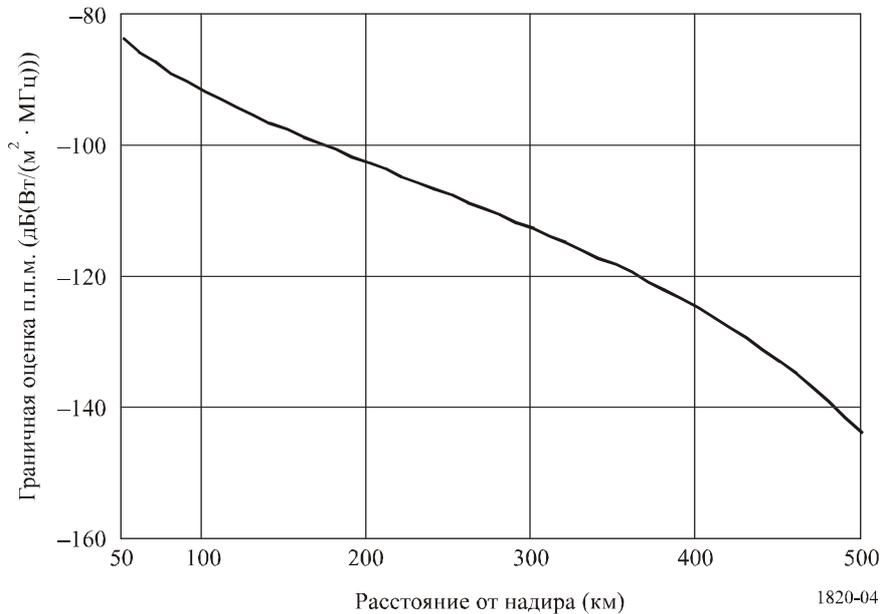
На рисунке 2 отражен тот факт, что с ростом усиления антенн в UAC/SAC ширина их диаграмм направленности также уменьшается, в связи с тем что с повышением пропускной способности платформы общее число лучей увеличивается соответствующим образом.

На рисунке 3 видно, что вычисленные значения множителей решетки сосредоточены в районе 1,1 независимо от усиления одной антенны. Это логично, поскольку схема размещения антенной решетки с повторным использованием семи частот уменьшает помеху на совпадающей частоте от соседних антенн на совпадающей частоте. Множитель решетки увеличивает усиление передающей антенны в уравнении (5) на 0,4 дБ.

На рисунке 4 показана вычисленная граничная оценка п.п.м. Граничная оценка п.п.м. определяется, в основном, из уравнения (5) путем замены усиления одной антенны Gt на эффективное усиление одной антенны, как описано в п. 1. Расстояние между антеннами HAPS и наземной станцией фиксированной службы определяется по расстоянию от надира из соответствующей сферической геометрии.

РИСУНОК 4

Зависимость граничной оценки п.п.м. от расстояния от надира платформы HAPS



В приведенных выше расчетах предполагается, что ширина полосы передатчика равна 11 МГц, а суммарные потери в кабеле/фидере составляют 5 дБ. Вычисленное значение п.п.м. находится в пределах от -84 дБ(Вт/(м² · МГц)) до $-144,2$ дБ(Вт/(м² · МГц)) при расстояниях от 50 км до 500 км от надира, при этом большее значение соответствует расстоянию 50 км от надира. Граничная оценка п.п.м. опускается ниже предела п.п.м. помехи фиксированной службе, в случае когда наибольшее расстояние от центра зоны покрытия HAPS, соответствующей RAC, превышает 470 км. Величина п.п.м. резко уменьшается, в случае когда это расстояние становится больше 200 км, что связано с быстрым возрастанием атмосферного ослабления. Угол места, соответствующий расстоянию от надира 200 км, составляет порядка 5°. Приведенное выше вычисление основано на предположении, что испытывающая помеху наземная станция фиксированной службы расположена на уровне моря. Наземные станции фиксированной службы, расположенные выше уровня моря, будут принимать помехи с более высокими уровнями вследствие меньшего атмосферного ослабления.

Энергетический потенциал линии HAPS для области RAC включает запас на замирание в дожде 20 дБ; следовательно, на линии вниз можно было бы использовать автоматическое регулирование мощности путем уменьшения мощности передатчика на 20 дБ в условиях чистого неба для уменьшения помехи станции фиксированной службы в направлении максимума диаграммы направленности, исходя из предположения, что станция фиксированной службы направлена на платформу HAPS. За счет прекращения работы луча в RAC, который направлен непосредственно на станцию фиксированной службы, можно добиться снижения уровня помехи в направлении максимума диаграммы направленности еще на 10 дБ. При этом по-прежнему потребуется, чтобы расстояние от станции фиксированной службы до надира платформы HAPS превышало 260 км. Влияние помехи станции фиксированной службы, создаваемой HAPS, также может быть ослаблено путем направления в сторону от платформы HAPS. Это возможно, учитывая чрезвычайно малую ширину диаграммы направленности антенны станции фиксированной службы ($> 1^\circ$), хотя критичность удержания платформы HAPS значительно выше, по сравнению с удержанием станции спутника ГСО, в случае если антенна станции фиксированной службы направлена слишком близко к номинальному положению платформы HAPS. Однако антенна станции фиксированной службы обычно направлена горизонтально, в направлении другой отдаленной антенны станции фиксированной службы, в то время как минимальный угол места антенны на платформе HAPS составляет порядка 4°.

и поэтому за счет одной лишь разницы между углами места антенн HAPS, создающих помехи, и антенны станции фиксированной службы может быть достигнуто уменьшение уровня сигнала помехи на 25 дБ.

Экранирование антенны станции фиксированной службы от внешних воздействий также помогает дополнительно уменьшить помеху вне направления максимума диаграммы направленности.

Сплошная кривая на рисунке 5 изображает зависимость вычисленной граничной оценки п.п.м. от угла места платформы HAPS, если смотреть со стороны станции фиксированной службы. Пунктирная кривая показывает ту же самую граничную оценку после вычитания запаса на ослабление в дожде 20 дБ. Следует отметить, что вычисленная граничная оценка п.п.м. (20 дБ) является абсолютно ровной при углах места выше 13° и резко падает при углах места ниже 3°.

РИСУНОК 5

Зависимость граничной оценки п.п.м. от угла места

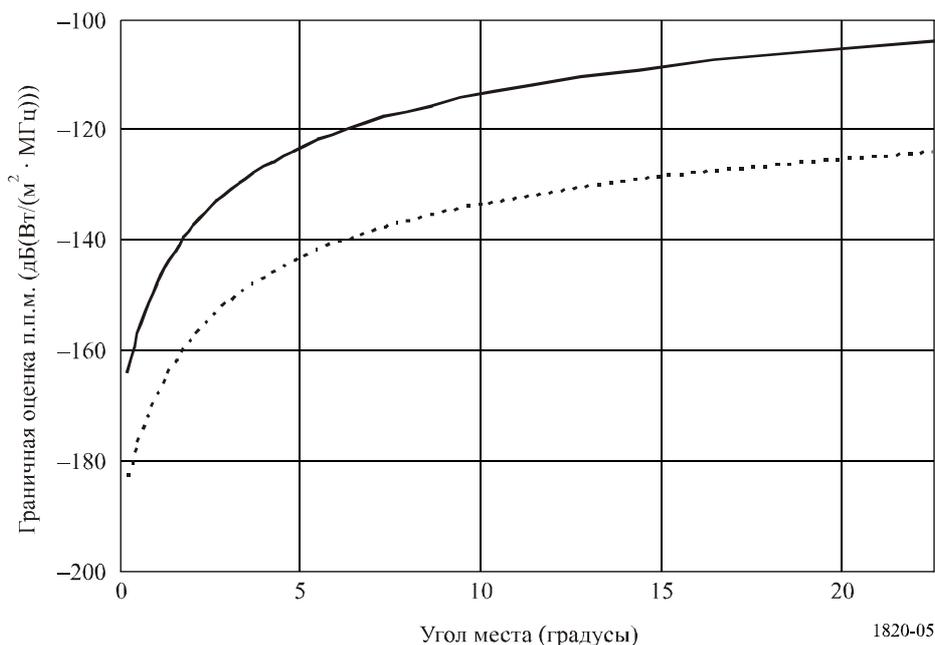
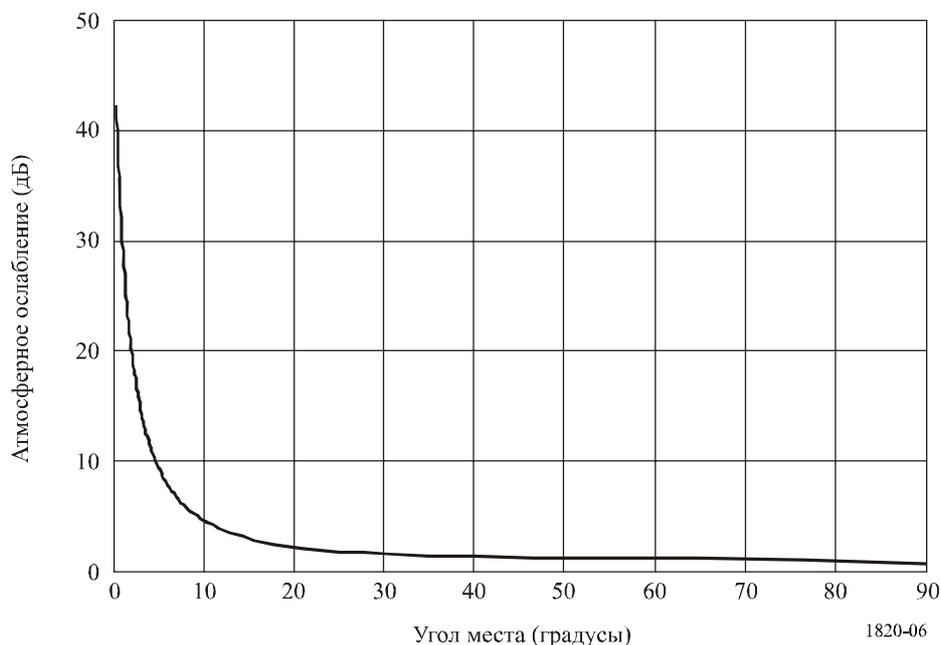


РИСУНОК 6

Зависимость атмосферного ослабления от угла места



На рисунке 6 изображено изменение минимального атмосферного ослабления, вызванного атмосферными газами, в полосе 47,2–48,2 ГГц в зависимости от угла места платформы HAPS, если смотреть со стороны станции фиксированной службы, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.1501. На рисунке указано, что атмосферное ослабление остается незначительным (0,57 дБ при 90° и 1,9 дБ при 22,5° или ~ 50 км от надира), пока угол наклона не опускается ниже 13° (ослабление = 3,4 дБ, расстояние ~ 90 км от надира), при котором ослабление возрастает почти экспоненциально и достигает значения 42,2 дБ при 0,154° (приблизительно 500 км от надира). При угле места 3° (~ 280 км от надира) атмосферное ослабление составляет 13,9 дБ. Следует отметить, что атмосферное ослабление быстро уменьшается при увеличении высоты наземной станции. На высоте более 10 км атмосферное ослабление изменяется от 0,47 дБ до 1,22 дБ при расстоянии от 76 км до 200 км (от надира).

3 Предлагаемый предел п.п.м. для HAPS на межгосударственных границах для защиты фиксированной службы

Исходя из результатов настоящего исследования предлагается, что в целях защиты наземных станций фиксированной службы соседних администраций от помех на совпадающих частотах, HAPS, действующая в полосах частот 47,2–47,5 ГГц и 47,9–48,2 ГГц, не должна превышать следующие значения п.п.м. на совпадающих частотах у поверхности Земли за пределами границы администрации, если только во время заявления HAPS не получено явное согласие затронутой администрации:

–	–141	дБ(Вт/(м ² · МГц))	при $0^\circ \leq \theta \leq 3^\circ$
–	–141 + 2,0(θ – 3)	дБ(Вт/(м ² · МГц))	при $3^\circ < \theta \leq 13^\circ$
–	–121	дБ(Вт/(м ² · МГц))	при $13^\circ < \theta \leq 90^\circ$,

где θ – угол прихода над горизонтальной плоскостью Земли.

Выбор угла прихода в диапазоне менее 3° обосновывается большей вероятностью того, что антенна станции фиксированной службы может принимать помеху от платформы HAPS в направлении максимума диаграммы направленности или в близком к нему направлении, и поэтому требуется полная защита. При углах прихода 13° или выше помеха вне направления максимума диаграммы направленности маловероятна, и поэтому предполагается уменьшение усиления антенны станции фиксированной службы на 20 дБ, что приводит к снижению требования по защите для п.п.м. от HAPS.