

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1712

Методики определения возможности для земной станции ФСС в заданном месте расположения вести передачи в полосе 13,75–14 ГГц без превышения пределов п.п.м., приведенных в п. 5.502 Регламента радиосвязи, и указания по снижению этих превышений

(2005)

Сфера применения

ВКР-03 приняла Резолюцию 144, в которой МСЭ-R предлагается разработать Рекомендации по определению технических или эксплуатационных методов для облегчения совместного использования полос частот и обеспечения большей гибкости при развертывании земных станций ФСС с диаметром антенны менее 4,5 м в полосе 13,75–14 ГГц в соответствии с п. 5.502 Регламента радиосвязи (РР); эти Рекомендации могут также использоваться для создания основы для двусторонних соглашений между администрациями.

В настоящей Рекомендации предлагаются три метода определения возможности для земной станции ФСС в заданном месте расположения вести передачи в полосе 13,75–14 ГГц без превышения пределов п.п.м., указанных в п. 5.502 Регламента радиосвязи. В ней также рассматриваются дополнительные меры, чтобы администрации небольших с географической точки зрения стран и стран с малой по ширине территорией могли определить, когда следует развертывать земные станции ФСС.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что ВКР-03 пересмотрела ограничения для фиксированной спутниковой службы (ФСС) (Земля-космос), касающиеся совместного использования полос частот в полосе 13,75–14 ГГц;
- b) что эта полоса частот ФСС используется на совместной основе с радиолокационной и радионавигационной службами;
- c) что пересмотренные условия совместного использования полос частот, утвержденные на ВКР-03, обеспечивают работу геостационарных ФСС земных станций в полосе 13,75–14 ГГц с антеннами диаметром D при $1,2 \text{ м} \leq D < 4,5 \text{ м}$;
- d) что согласно п. 5.502 Регламента радиосвязи (РР) от администрации, которая планирует эксплуатировать в пределах своей страны земную станцию ФСС с антенной диаметром D менее 4,5 м, ведущую передачи на ГСО спутник в полосе 13,75–14 ГГц, требуется обеспечить, чтобы п.п.м., создаваемая этой земной станцией в любой точке на границе соседней страны на высоте 3 м над землей и/или в любой точке на ее морской границе (если таковая имеется) на высоте 36 м над отметкой низшего уровня воды, не превышала $-115 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 10 \text{ МГц))}$ для более чем 1% времени;
- e) что, поскольку потери распространения увеличиваются с расстоянием, а для трасс над сушей в значительной мере зависят от характера местности, земные станции, расположенные достаточно далеко от границы соседней страны или от отметки низшего уровня воды, могут удовлетворять пределу п.п.м. без применения методов снижения помех (например, экранирование местностью), и поэтому методы для определения тех зон в стране, где это имеет место, помогут администрациям выполнить требование в пункте d) раздела *учитывая*;
- f) что экранирование местностью с помощью природных или промышленных объектов может ослабить сигнал, передаваемый земной станцией в направлении сухопутной границы соседней страны и/или отметки низшего уровня воды;
- g) что использование особых типов земных станций с улучшенными характеристиками боковых лепестков может уменьшить сигнал, создаваемый земной станцией ФСС на сухопутной границе соседней страны и/или на отметке низшего уровня воды;

h) что в качестве основы для методов, упомянутых в пункте е) раздела *учитывая*, целесообразно применять соответствующую информацию в Рекомендациях МСЭ-R и что может оказаться целесообразным использовать базу данных о местности, относящуюся к любой стране, в которой планируется эксплуатировать земные станции ФСС с диаметром антенны D менее 4,5 м в полосе 13,75–14 ГГц;

j) что в Резолюции 144 (ВКР-03) решено, что администрации небольших с географической точки зрения стран или стран с малой по ширине территорией могут превышать приведенные в п. 5.502 РР ограничения на плотность потока мощности земных станций ФСС на отметке низшего уровня воды, если такая работа находится в соответствии с двусторонними соглашениями с администрациями, развертывающими морские радиолокационные системы в полосе 13,75–14 ГГц;

к) что в Резолюции 144 (ВКР-03), кроме того, решено, что технические или эксплуатационные методы, которые еще больше облегчат совместное использование частот, возможно, будут допускать большую гибкость при развертывании земных станций ФСС в полосе 13,75–14 ГГц в соответствии с п. 5.502 РР и что эти методы могут также использоваться в качестве основы для заключения двусторонних соглашений между администрациями,

отмечая,

а) что в п. 5.503 РР приведены дополнительные ограничения, касающиеся эксплуатации земных станций ФСС в полосе шириной 10 МГц полосы 13,77–13,78 ГГц,

рекомендует,

1 чтобы для определения возможности земной станции, предлагаемой для работы в полосе 13,75–14 ГГц, удовлетворять пределам п.п.м. согласно п. 5.502 РР, использовался метод, соответствующий либо Приложению 1, или Приложению 2, или Приложению 3, либо сочетанию этих Приложений, в зависимости от того, что будет более подходящим для заинтересованных администраций, включая страны, указанные в пункте j) раздела *учитывая*;

2 чтобы, кроме того, в случае небольших с географической точки зрения стран или стран с малой по ширине территорией для оказания помощи в выполнении пределов п.п.м. согласно п. 5.502 РР и/или для применения в качестве основы для заключения двусторонних соглашений между администрациями, добивающимися договоренности по снижению пределов п.п.м., указанных в п. 5.502 РР, использовалась информация в Приложении 4 настоящей Рекомендации.

Приложение 1

Метод 1: Кривые минимального расстояния разноса, основанные на Рекомендации МСЭ-R P.452 и использующие высоту и плотность э.и.и.м. земных станций ФСС в направлении горизонта, широту и, возможно, высоты рельефа местности¹

С помощью этого метода получены две кривые с использованием модели гладкой Земли, показывающие минимальное расстояние разноса от отметки низшего уровня воды и/или сухопутной границы соседней страны, которое будет необходимо для земной станции ФСС для выполнения пределов п.п.м. согласно п. 5.502 РР, в функции плотности э.и.и.м. земной станции в направлении горизонта. Первая кривая дает расстояние разноса для трасс в пределах прямой видимости (LoS). Вторая кривая дает расстояние разноса для загоризонтных трасс. Предполагается, что земная станция ФСС, развернутая на расстоянии, большем или равном минимальному расстоянию разноса,

¹ С помощью метода 2 максимизируется зона, в которой могут быть развернуты станции без необходимости проведения анализа отдельных мест их расположения. Если для той или иной страны цифровые данные о местности недоступны или желателен более простой подход, то тогда применение метода 1 позволит построить контуры, которые в некоторой степени будут более консервативны, чем полученные с помощью подхода с цифровой информацией о рельефе местности при методе 2.

удовлетворяет критериям предела п.п.м. Кроме определения того, является ли трасса до отметки низшего уровня воды или до границы трассой LoS или загоризонтной трассой, никакого дополнительного анализа проводить не требуется. Следует отметить, что развертывание станций в исключенных с помощью этого метода зонах все же возможно, если будет найдено потенциальное местоположение станции, где будут выполняться критерии по пределу п.п.м., путем применения либо метода 2, либо метода 3 (Приложения 2 и 3). В целях полного учета изменчивости рельефа местности в реальном мире рассматриваемый метод разделяется на три этапа в порядке возрастания сложности. Этап А несомненно является простейшим и не учитывает рельефа местности. Фактически данный этап предполагает *плоскую* Землю, где все трассы – это трассы LoS. Этап В предполагает сферическую Землю с номинальным радиогоризонтом, но не рассматривает влияние промежуточной территории. Аналогично этапу В, этап С предполагает сферическую Землю, но, в отличие от этапа В, он рассматривает влияние промежуточной территории. Каждый этап по порядку будет увеличивать размер потенциальной зоны развертывания ФСС (достигая наибольшей возможной зоны при использовании этапа С). Отмечается, что если этап А или В показывает, что потенциальное место развертывания удовлетворяет критериям предела п.п.м., то нет необходимости выполнять следующий этап(ы). Этап В или С, по усмотрению пользователя, может быть применен без предварительного выполнения этапа А.

Для расчета величины расстояния необходимо применить некоторые основные допущения и модели распространения радиоволн. 3-я Исследовательская комиссия по радиосвязи разработала для этой конкретной цели множество моделей распространения, а во многих схожих ситуациях совместного использования частот применялась Рекомендация МСЭ-R P.452-11, которая, по-видимому, более всего подходит для рассматриваемых ситуаций распространения.

Ниже приведено углубленное описание метода 1.

Этап А: Предполагается, что все трассы являются трассами LoS. Для определения минимального расстояния разноса в функции э.и.и.м./10 МГц, излучаемой станцией в направлении отметки низшего уровня воды (или границы), используется кривая для трасс в пределах прямой видимости. Следует отметить, что эта кривая выводится из потерь на трассе LoS согласно Рекомендации МСЭ-R P.452-11 ($p = 1,0\%$). Поскольку это модель плоской Земли, данная кривая не зависит от таких факторов, как локальное значение ΔN и высота антенны над окружающей местностью. Если потенциальное место развертывания станции находится дальше от отметки низшего уровня воды (или границы), чем требуемое расстояние разноса из кривой для трассы прямой видимости, то ситуация считается соответствующей критериям предела п.п.м. в п. 5.502 РР. Если длина трассы меньше, чем требуемое расстояние разноса, то переходите к этапу В.

Этап В: Этот этап предполагает сферическую Землю и поэтому требует определения номинального радиогоризонта. В первую очередь найдите эффективный радиус Земли, a_e , используя локальное значение ΔN и уравнения (5) и (6) Рекомендации МСЭ-R P.452-11 (для преобразования в метры). Радиогоризонт можно затем вычислить из следующего уравнения:

$$R_{\text{Horizon}_{\text{номинальный}}} = \sqrt{2 \cdot a_e} \cdot (\sqrt{h_0} + \sqrt{h_{es}}) / 1\,000 \quad \text{км,}$$

где:

$h_0 =$ 36 м для трассы до отметки низшего уровня воды или 3 м для трассы до сухопутной границы;

h_{es} : высота земной станции (м) над средним уровнем моря.

Если место расположения земной станции находится в пределах номинального радиогоризонта для отметки низшего уровня воды (или сухопутной границы), то требуемое расстояние разноса определяется из кривой для трасс прямой видимости на рисунке 4. Если место расположения земной станции находится за пределами номинального радиогоризонта, то требуемое расстояние разноса определяется из кривой для загоризонтных трасс на рисунке 4. Если потенциальное место развертывания станции находится дальше от отметки низшего уровня воды (или границы), чем требуемое расстояние разноса из применяемой кривой, то ситуация считается соответствующей критериям предела п.п.м. в п. 5.502 РР. Если длина трассы меньше, чем требуемое расстояние разноса, то переходите к этапу С.

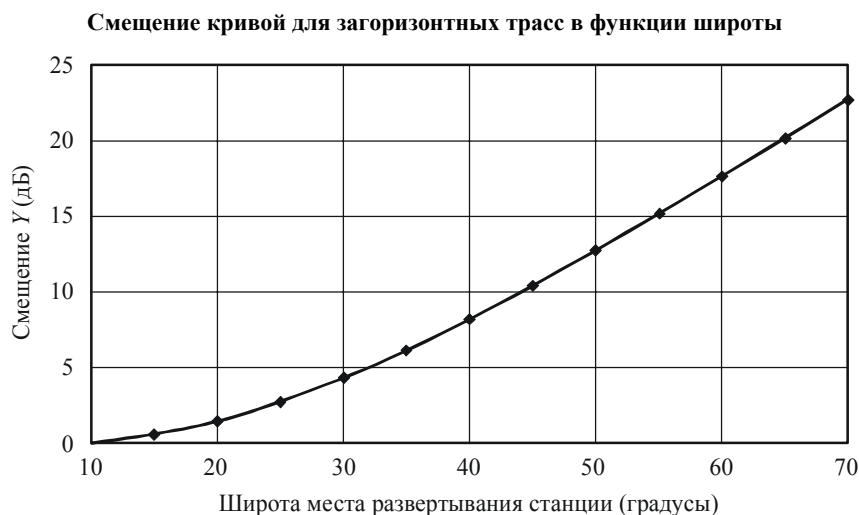
Этап С: Этот этап также предполагает сферическую Землю. Кроме того, он требует более детального анализа трасс в направлении отметки низшего уровня воды (или границы). Для того

чтобы определить, является ли рассматриваемая трасса трассой LoS или загоризонтной, используется Дополнение 2 к Приложению 1 Рекомендации МСЭ-R P.452-11. Конкретная процедура подробно описывается в п. 4.1 "Испытание для загоризонтной трассы" этого Дополнения. Данные о рельефе местности можно взять из цифровых карт высот местности или даже определить из контуров высот на печатных картах. Поскольку для реальной местности трасса с наименьшими потерями не обязательно будет самой короткой трассой, должны быть испытаны несколько трасс в радиусе вокруг потенциального места расположения земной станции. Если испытания показывают, что любая трасса будет трассой LoS, то требуемое расстояние разноса определяется с использованием кривой для трасс в пределах прямой видимости на рисунке 4 (используется самая короткая трасса в пределах прямой видимости). Если испытания показывают, что любая трасса будет загоризонтной трассой, то требуемое расстояние разноса определяется с использованием кривой для загоризонтных трасс на рисунке 4. Если потенциальное место развертывания станции находится дальше от отметки низшего уровня воды или сухопутной границы соседней страны, чем требуемое расстояние разноса из применяемой кривой, то ситуация считается соответствующей критериям предела п.п.м. в п. 5.502 РР. Если длина трассы меньше, чем требуемое расстояние разноса, то такая трасса, вероятно, не соответствует пределу п.п.м.

Важно отметить, что требуемое расстояние разноса, найденное с использованием любого из трех этапов, не является абсолютным минимальным значением. Если расстояние от земной станции до отметки низшего уровня воды или сухопутной границы соседней страны меньше, чем требуемое значение, то для проверки возможности выполнения критериев предела п.п.м. в п. 5.502 может применяться дополнительный анализ с использованием либо метода 2, который учитывает цифровые данные о рельефе местности, либо метода 3, который также учитывает данные о рельефе местности и такие факторы, как экранирование местностью.

Как описано выше, использование метода 1 требует наличия двух кривых (для различных типов трасс), которые дают минимальное расстояние X до отметки низшего уровня воды или сухопутной границы в функции плотности э.и.и.м. в направлении горизонта для выполнения критериев предела п.п.м. Места развертывания станций, которые находятся на расстояниях, меньших, чем X , от отметки низшего уровня воды или сухопутной границы, возможны, но требуют применения других методов. Для расчета значений (LoS) в пределах расстояния X требуется применение некоторых основных допущений и моделей распространения. Кривая LoS рассчитывается непосредственно из уравнения LoS в Рекомендации МСЭ-R P.452-11. Имеется в виду уравнение (9) из п. 4.2 этой Рекомендации. Используйте соответствующую частоту и установите значение процента времени p на 1,0%. Для определения сочетания э.и.и.м./расстояние, которое удовлетворяет пределу п.п.м., используются результирующие потери согласно уравнению (2). Кривая для загоризонтных трасс является просто кривой LoS, смещенной вверх по шкале э.и.и.м. на величину Y дБ. Величина Y определяется из кривой на рисунке 1. Как отмечалось выше, уровень п.п.м., приведенный в п. 5.502 РР, устанавливает высоту на отметке низшего уровня воды или на сухопутной границе соседней страны.

РИСУНОК 1



Пример применения метода 1

При рассмотрении этапа А в некоторых странах типовые терминалы земных станций с очень малой апертурой (VSAT), работающих в полосе 13,75–14,5 ГГц, ограничиваются по уровню плотности входной мощности в антенне до -14 дБ(Вт/4 кГц). Для типичной цифровой несущей VSAT с квадратурной фазовой манипуляцией 64 кбит/с (упреждающая коррекция ошибок со скоростью 1/2 с кодированием Рида-Соломона) и с приблизительной шириной полосы 84 кГц этот уровень создаст плотность входной мощности P_d :

$$P_d = -14 + 10 \log (84/4) = -0,8 \text{ дБ(Вт/84 кГц)}.$$

Если допустить, что внеосевой угол к отметке низшего уровня воды по углу места и азимуту превышает 48° , то усиление антенны составит -10 дБи, а плотность передаваемой э.и.и.м., в предположении одной несущей в пределах полосы частот 10 МГц, составит:

$$(\text{э.и.и.м.})_d = -10,8 \text{ дБ(Вт/полоса частот 10 МГц)}.$$

Далее допустим, что длина трассы от земной станции до отметки низшего уровня воды (в данном примере предполагается, что отметка низшего уровня воды совмещена с береговой линией) составляет 44 км, локальное значение $\Delta N = 40$ и высота земной станции на 20 м выше среднего уровня моря (AMSL). Широта равна 35° , что дает смещение кривой для загоризонтных трасс на 6 дБ. Этап 1 начинается со сравнения внеосевой э.и.и.м. с кривой для трассы LoS на рисунке 4. Из этой кривой следует, что требуемое для трассы LoS расстояние разноса составит приблизительно 66 км. Поскольку фактическая длина трассы меньше требуемого минимального расстояния разноса, этап А не обеспечивает соответствия пределу п.п.м.

Согласно этапу В, вычисленное расстояние до номинального радиогоризонта составляет 43,3 км. Поскольку фактическая длина трассы больше расстояния до номинального радиогоризонта, эта трасса должна быть загоризонтной. Поэтому минимальное расстояние разноса может быть найдено с использованием кривой для загоризонтных трасс на рисунке 4. При использовании этой кривой для станции с внеосевой э.и.и.м. $-10,8$ дБВт требуется минимальное расстояние разноса, равное приблизительно 35 км. В этом случае фактическая длина трассы больше требуемого минимального расстояния разноса. Следовательно, этап В показывает, что эта земная станция соответствует пределу п.п.м. Если этап В не обеспечивает необходимого соответствия, то согласно этапу С проводится анализ с использованием более точной оценки истинного радиогоризонта.

В случае несущей 512 кбит/с с шириной полосы 669 кГц плотность э.и.и.м. составит:

$$(\text{э.и.и.м.})_d = -14 + 10 \log (669/4) - 10 = -1,8 \text{ дБ(Вт/10 МГц)}.$$

Этап А показывает, что потребуется минимальное расстояние разноса, равное приблизительно 140 км. Если этапы В или С смогут установить, что эта трасса является загоризонтной, то требуемое минимальное расстояние разноса составит примерно 83 км.

Пример этапа С в методе 1

При рассмотрении этапа С потенциальное место расположения земной станции отмечается на приведенной в качестве примера карте на рисунке 2. Этапы А и В показывают, что это место расположения не соответствует пределу п.п.м. Следовательно, будет использован этап С метода 1. Для вычисления радиогоризонта на трассах между станцией и различными точками вдоль побережья (отметка низшего уровня воды) будут использоваться контуры, взятые из карты. Зададимся следующими параметрами:

э.и.и.м. земной станции в направлении горизонта во всех направлениях = $-10,8$ дБВт

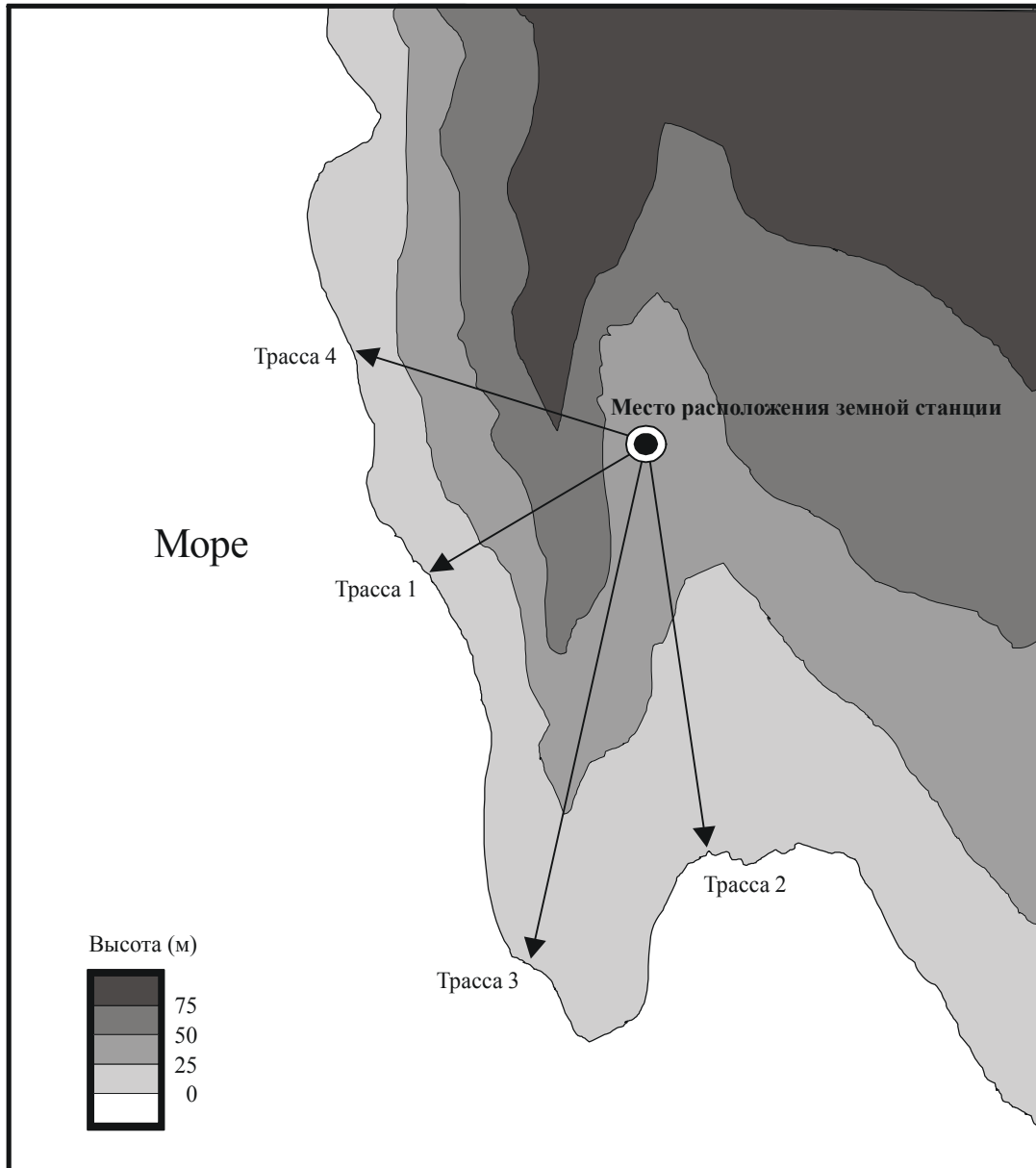
Высота земной станции над средним уровнем моря = 40 м

Локальное годовое среднее значение $\Delta N = 45$

Широта равна 35° .

РИСУНОК 2

Пример контурной карты, показывающий потенциальное место расположения земной станции



Длина трасс

- 1 37 км
- 2 61 км
- 3 80 км
- 4 41 км

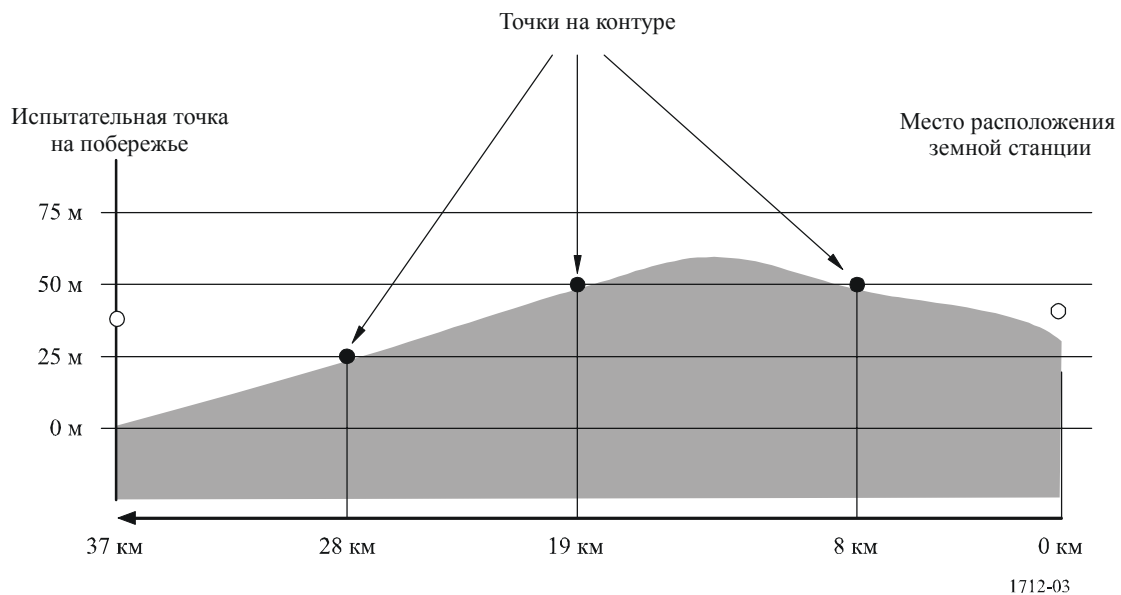
1712-02

Быстрая проверка по рисунку 4 показывает, что требуемое для трассы LoS расстояние разноса для этой земной станции (ES) составляет 63,5 км. Самая короткая трасса до отметки низшего уровня воды (трасса 1) очевидно много меньше требуемого для трассы LoS расстояния. Этап А не обеспечивает соответствия. Использование значения ΔN и высоты земной станции над средним уровнем моря показывает, что номинальный радиогоризонт равен 52,1 км. Поскольку длина трассы 1 меньше номинального горизонта, требуемое расстояние разноса остается без изменения. Этап В также не подходит.

Этап С начинается с испытания загоризонтной трассы, определенного в Дополнении 2 к Приложению 1 Рекомендации МСЭ-R P.452-11. Трассы разделяются на участки с целью отражения различных высот вдоль каждой части каждой трассы. Использование равномерно разнесенных приращений рекомендуется, но это не обязательно. При испытании согласно Рекомендации МСЭ-R P.452 выполняется проверка того, превышает ли угол места физического горизонта, θ_{ES} , видимый с земной станции, угол, противолежащий углу от испытательной точки на побережье, θ_{TP} . Для подробного описания этой процедуры см. указанную Рекомендацию. Проведение необходимых расчетов на трассе 1 показывает, что $\theta_{ES} = 0,8$ мрад и $\theta_{TP} = -2,2$ мрад. Поскольку $\theta_{ES} > \theta_{TP}$, эта трасса является загоризонтной. Следует отметить, что хотя трасса 2 и трасса 3 не пересекают контуры с большей высотой, чем высота земной станции, значения длины этих трасс превышают номинальный радиогоризонт, определенный на этапе В. Поэтому и без применения указанного в Рекомендации МСЭ-R P.452 испытания известно, что такие трассы являются загоризонтными. Трасса 4 и более протяженная, чем трасса 1, и пересекает контур с большей высотой. Расчет углов показывает, что эта трасса действительно является загоризонтной. Согласно наблюдениям, не существует никаких других трасс, на которых можно ожидать получения результатов, отличных от результатов для трасс, показанных на карте, выше. Следовательно, это место расположения земной станции не находится в пределах трассы LoS для любой точки на побережье (отметка низшего уровня воды). Кривая для загоризонтных трасс на рисунке 4 показывает, что требуемое расстояние разноса для этой земной станции составляет 34 км. Поскольку длина самой короткой трассы превышает это значение, считается, что данное место расположения земной станции соответствует критериям предела п.п.м.

РИСУНОК 3

Профиль трассы 1

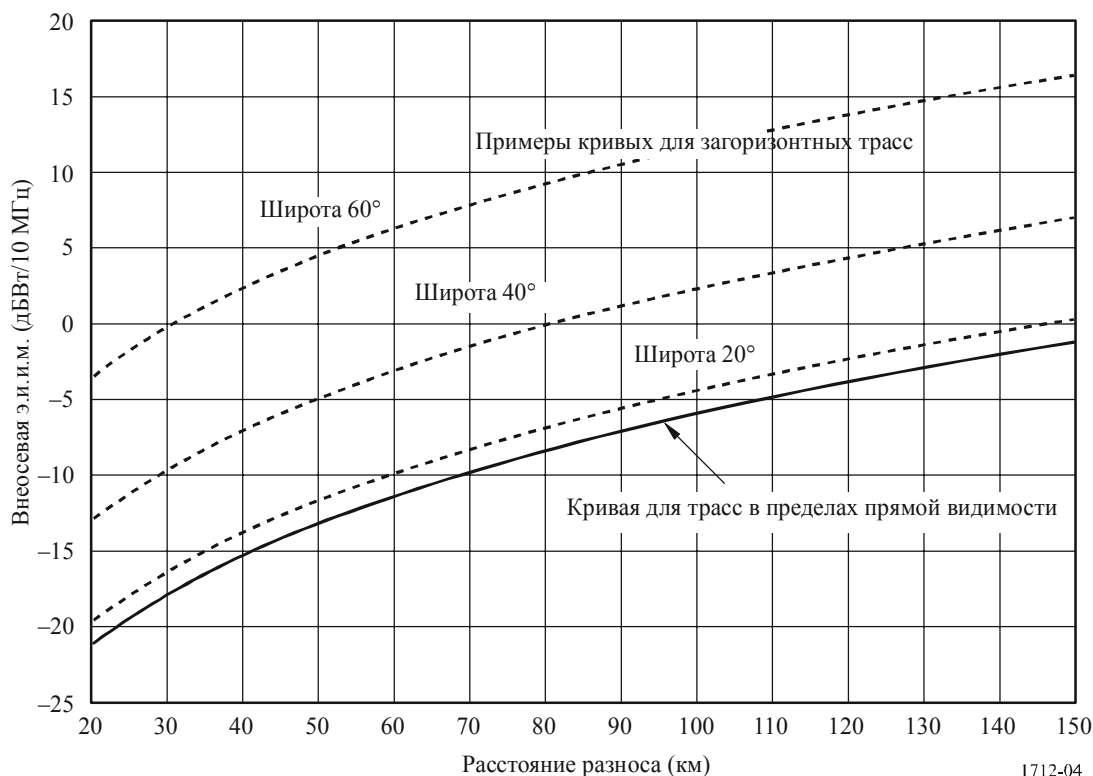


1712-03

Следует отметить, что в расчетах фактически не использовалось реальное пиковое значение профиля на рисунке 3. Контурная карта на рисунке 2 дает достоверные данные только о высотах с приращениями в 25 м. Для использования истинной высоты промежуточной территории желательно задействовать источник данных о рельефе местности с более высоким разрешением.

РИСУНОК 4

Метод 1: Кривые с данными о расстояниях разноса (минимальное расстояние до отметки низшего уровня воды в функции плотности э.и.и.м. в направлении горизонта)



Следует отметить, что кривая для трасс LoS выводится из потерь для трасс LoS, приведенных в Рекомендации МСЭ-R P.452-11. Кривая для загоризонтных трасс представляет собой просто кривую для трасс LoS, смещенную вверх по оси э.и.и.м. на $Y_{дБ}$. В действительности, дифракционные потери – это не просто потери на трассе LoS, смещенные на постоянную величину. Дополнительный анализ приведенной в Рекомендации МСЭ-R P.452-11 модели может показать, что кривая для загоризонтных трасс, возможно, потребует некоторой корректировки.

Приложение 2

Метод 2: Контуры п.п.м., основанные на реальных данных о рельефе местности, модели распространения в Рекомендации МСЭ-R P.452-11, уровнях э.и.и.м. земной станции ФСС в полосе частот 10 МГц, а также диаметре и высоте ее антенны над уровнем земли

1 Общие замечания

При применении этого метода создается набор контуров с использованием реальных данных о рельефе местности; эти контуры показывают минимальное расстояние разноса от отметки низшего уровня воды или сухопутной границы соседней страны, которое земная станция ФСС должна соблюдать для выполнения пределов п.п.м. в п. 5.502 PP, в функции э.и.и.м. земной станции, а также диаметра и высоты ее антенны. Предполагается, что земная станция ФСС, которая развернута в пределах контура, основанного на величине ее осевой э.и.и.м., удовлетворяет критериям предела п.п.м.

Никакого дополнительного анализа проводить не требуется. Этот метод при использовании более точных по сравнению с методом 1 данных позволяет получить зоны с большей площадью, внутри которых может быть развернута земная станция, выполняющая пределы п.п.м. в п. 5.502 РР. Однако следует отметить, что развертывание земных станций в исключенных с помощью этого метода зонах все же возможно, если для потенциального места расположения станции будет доказано выполнение критериев по пределам п.п.м. путем применения метода 3 (Приложение 3). Для учета различных потерь на трассе из-за различных высот антенн контуры должны быть определены для ряда высот земных станций над уровнем локального рельефа местности.

2 Поэтапное описание метода 2

Этап 1: Определение контуров: В предположении нескольких типичных комбинаций диаметра антенны и соответствующей осевой э.и.м. можно определить набор контуров в виде изображения зон, в которых может быть развернута рассматриваемая земная станция, соблюдающая пределы в п. 5.502 РР. С учетом избирательности земной станции между направлением ее ориентирования и направлением на границу с каждым определенным контуром может быть связана величина необходимых потерь на трассе.

Этап 2: Расчет контуров: Зная величину потерь на трассе, связанных с каждым контуром, и учитывая базу данных о реальном рельефе местности, можно рассчитать расположение каждого контура на карте. Используемая при этом модель распространения является одной из моделей, описанных в Рекомендации МСЭ-R P.452-11.

Этап 3: Соответствие критериям пределов п.п.м. в п. 5.502 РР: Такое соответствие оценивается путем сравнения местоположения предназначенной для развертывания земной станции с контуром, связанным с соответствующим профилем:

- если местоположение предназначенной для развертывания земной станции находится внутри соответствующего контура, то земная станция может быть развернута без принятия каких-либо дополнительных мер при соблюдении критериев в п. 5.502 РР;
- если местоположение предназначенной для развертывания земной станции находится вне соответствующего контура, то требуется учитывать дополнительные соображения относительно фактической окружающей среды для рассматриваемой станции.

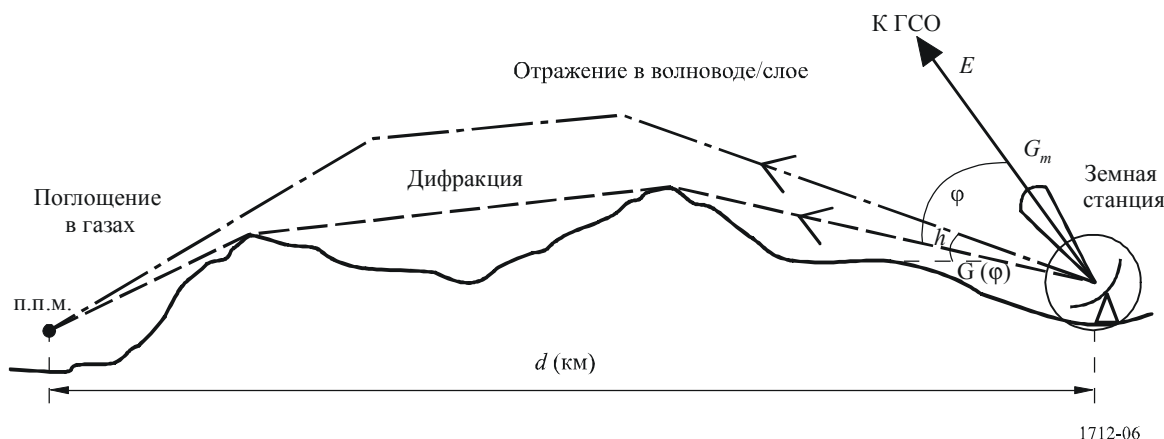
3 Возможное применение метода 2

3.1 Сценарий помех

Сценарий помех на границе страны, которые создаются земной станцией, расположенной в пределах страны, иллюстрируется на рисунках 5 и 6.

РИСУНОК 6

Потери на трассе помех



1712-06

Уровень п.п.м. на отметке низшего уровня воды или сухопутной границы может быть вычислен по уравнению (1):

$$\text{п.п.м.} = E - G_m + G(\varphi) - L - 10 \log (\lambda^2/4\pi) \quad \text{дБ(Вт/м}^2\text{)}, \quad (1)$$

где:

- L : потери на трассе между изотропными антеннами, превышенные в течение всего времени, кроме 1% (дБ);
- λ : длина волны (м).

На средней частоте полосы 13,875 МГц $\lambda = 0,02162$ м, поэтому $10 \log (\lambda^2/4\pi) = -44,29$. Далее, для выполнения требуемого предела п.п.м. уравнение с перестановками (1) дает:

$$L = E - (G_m - G(\varphi)) + 159,29 \quad \text{дБ.} \quad (2)$$

Если бы коэффициенты в правой части уравнения (2) можно было уменьшить до постоянных величин, то зоны, в которых земная станция будет удовлетворять пределам п.п.м., будут указываться контурами с постоянной величиной L .

Коэффициент $(G_m - G(\varphi))$ – это избирательность, обеспечиваемая диаграммой передающей антенны земной станции в направлении трассы помех; он зависит от диаметра антенны и диаграммы направленности излучения, а также от внеосевого угла φ . Для диаграммы излучения целесообразно применять алгоритмы в Рекомендации МСЭ-R S.580 для боковых лепестков и добавлять главный луч со спадом характеристики по квадратичному закону (т. е. $G(\varphi) = G_m - 12(\varphi/\varphi_{3\text{дБ}})^2$), а также пиковое усиление, G_m , соответствующее к.п.д. излучения 65% (т. е. $G_m = 10 \log [(0,65) (\pi D/\lambda)^2]$, где D – диаметр антенны (м), а $\varphi_{3\text{дБ}} = 70\lambda/D$). Таким образом, для любой заданной э.и.м. земной станции и диаметра антенны значение L , требуемое для соблюдения пределов п.п.м., может быть рассчитано, если известно подходящее значение угла φ .

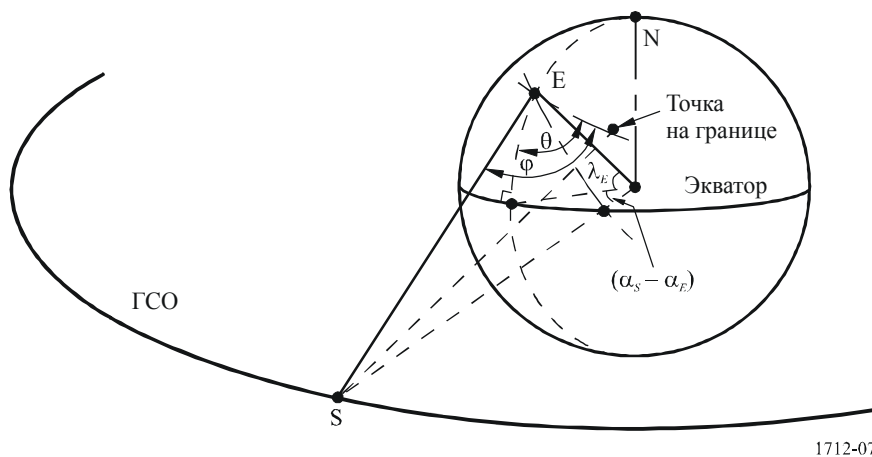
Высота земной станции над окружающей местностью, h_E , должна определяться заинтересованной администрацией в соответствии с типом планируемого развертывания. Например, контуры, показанные далее в этом Приложении, были рассчитаны для $h_E = 11,2$ м. Этот уровень предполагает использование терминалов, установленных на высоте. Если бы земная станция планировалась для установки на одноэтажных строениях с плоской крышей (как, например, бензозаправочная колонка), то подходящей была бы высота 5–6 м. Следует проявлять осторожность, с тем чтобы избежать установки земных станций выше той высоты, которая использовалась для построения контуров; это позволит исключить случаи превышения допустимого уровня п.п.м. на отметке низшего уровня воды. Для установки станций на более высоких зданиях в условиях города потребуются еще большие значения для h_E . В таких местах в условиях города внеосевые трассы от земной станции могут блокироваться значительными местными помехами. В любом случае такой уровень детального анализа выходит за рамки целей метода 2. Этот метод должен основываться на "типовых", а не на экстремальных случаях развертывания станций.

3.2 Внеосевой угол земной станции для создания максимальной п.п.м. на отметке низшего уровня воды или на сухопутной границе

Из рисунка 5 можно видеть, что внеосевой угол зависит от направления на отметку низшего уровня воды или на сухопутную границу, а также от углов азимута, a , и места, e , по которым ориентирована антенна земной станции. Из рисунка 6 можно видеть, что угол φ в небольшой степени зависит также от угла места, h , местного горизонта. Из эталонных диаграмм направленности МСЭ-R видно, что для сравнительно небольших внеосевых углов избирательность антенны увеличивается довольно быстро (пропорционально величине $25 \log(\varphi)$), но для больших углов она стремится к выравниванию. Направление трассы с наименьшими потерями на отметку низшего уровня воды или сухопутную границу зависит частично от географии местности между границей и земной станцией (т. е. трасса с наименьшими потерями имеет тенденцию проходить в азимутальном направлении вблизи направления, в котором расстояние до границы является кратчайшим) и частично от характера местности (в холмистой местности трасса с наименьшими потерями может не совпадать с самой короткой трассой). Если направление самой короткой трассы близко к азимутальному направлению ориентирования антенны земной станции и угол места антенны небольшой, то даже тогда, когда самая короткая трасса не является трассой с наименьшими потерями, может быть создан максимальный уровень п.п.м. из-за преобладания влияния избирательности антенны над влиянием местности. Однако, поскольку азимутальный пеленг, θ , трассы с наименьшими потерями до границы может лежать где-то в пределах от 0 до $\pm 180^\circ$ относительно направления прямо на юг, целесообразно рассмотреть, каким образом угол φ изменяется в зависимости от θ для различных сочетаний a и e . Сами значения углов a и e зависят от широты местоположения земной станции, λ_E , и от ее долготы, α_E , относительно долготы, α_S , спутника, на который она ведет передачи.

РИСУНОК 7

Взаимосвязь внеосевого угла с пеленгом в направлении точки на границе



Из геометрических построений на рисунке 7 внеосевой угол φ (когда $h = 0^\circ$) рассчитывался для значений пеленга θ с шагом 5° от -180° до $+180^\circ$ для земных станций с различными широтами и в каждом случае для ряда значений разности по долготе между земной станцией E и ее спутником S, охватывая таким образом наиболее возможные на практике ситуации. При рассмотрении земных станций в целом все пеленги для трасс с наименьшими потерями до отметки низшего уровня воды или до сухопутной границы являются равновероятными. Поэтому можно преобразовать полученные таким образом данные в кумулятивные распределения вероятностей угла φ . Путем корректировки этих результатов для учета угла $h = +3^\circ$ было установлено, что в случае расположения земных станций на широте, например, $\pm 10^\circ$ угол φ превышает 48° для 96% азимутальных пеленгов. Аналогичным образом, для земных станций на широте $\pm 35^\circ$ угол φ превышает 48° для 92% азимутальных пеленгов, а для земных станций на широте $\pm 60^\circ$ угол φ превышает 48° для 91% азимутальных пеленгов. Поскольку 48° – это внеосевой угол, при котором диаграммы усиления в

Рекомендации МСЭ-R S.580 выравниваются, избирательность антенны земной станции можно таким образом рассматривать как постоянную величину в 91–96% случаев. Величина этой избирательности зависит от диаметра антенны и приведена в таблице 1 для антенн с эффективностью 65%:

ТАБЛИЦА 1

Максимальная избирательность антенны из Рекомендации МСЭ-R S.580

Диаметр антенны (м)	1,2	1,5	1,8	2,1	2,6	3,1	4,5
Избирательность ($G_m - G(\varphi)$) для $\varphi \geq 48^\circ$ (дБ)	53,0	54,9	56,5	57,8	59,7	61,2	64,4

Из результатов расчетов, описанных в предыдущем абзаце, было определено, что минимальные значения внеосевого угла наблюдаются для значений угла θ , близких к разности по долготе между спутником и земной станцией. Следовательно, хотя использование настоящей методики и "безопасно" для большинства случаев, но если место для размещения земной станции находится на контуре или вблизи контура, подходящего для ее э.и.и.м. и размера антенны, и есть основания считать, что трасса с наименьшими потерями до отметки низшего уровня воды или до сухопутной границы (например, трасса до ближайшей точки) приблизительно соответствует азимутальному направлению спутника, а угол места до спутника составляет величину менее чем $(48^\circ + h)$, то необходимо будет выполнить отдельный расчет, а не полагаться на применение контура. Однако такой расчет потребует лишь для небольшого числа случаев, что в основном определяется шириной местности, в которой намечается развернуть земную станцию ФСС. В тех примерах, где земные станции ФСС работают под углами места выше определенного угла (например, выше $48^\circ + h$ для диаграммы направленности антенны согласно Рекомендации МСЭ-R S.580), плотность э.и.и.м. в направлении горизонта будет постоянной для всех азимутов. В таких случаях контуры, соответствующие требуемому расстоянию, могут быть рассчитаны в функции входной мощности в антенне и не зависят от размера антенны.

В исключительных случаях, когда место для размещения земной станции находится в пределах, но близко к контуру, подходящему для рассматриваемых э.и.и.м. и размера антенны, угол места меньше 51° (т. е. $48^\circ + 3^\circ$), а азимутальный пеленг в направлении спутника близок к пеленгу трассы с наименьшими потерями до границы, внеосевой угол φ должен рассчитываться из выражения $\varphi = \cos^{-1}[\cos(\theta - a) \cdot \cos(e) \cdot \cos(h) + \sin(e) \cdot \sin(h)]$ (градусы). Если результат меньше 48° , то земная станция может превышать на границе предел п.п.м. на величину разности между внеосевым усилением, полученным согласно Рекомендации МСЭ-R S.580 для этого конкретного внеосевого угла, и -10 дБи, если станция располагалась точно на контуре, или на меньшую величину, если станция находилась внутри контура. Это превышение может быть исключено путем любого перемещения земной станции в место, расположенное дальше внутри контура, снижения э.и.и.м., добавления эффекта экранирования за счет местного рельефа или сочетания некоторых или всех этих факторов, в зависимости от ситуации. Для наихудшего (и весьма маловероятного) случая, когда $e = 10^\circ$, $h = 3^\circ$ и $\theta = a$, потребуется снижение помех на величину до 17,9 дБ.

3.3 Соображения, касающиеся э.и.и.м. земной станции (Е)

Оставшимся коэффициентом, подлежащим определению в уравнении (2), является величина Е. Для обеспечения того, чтобы любые созданные контуры включали большинство уровней э.и.и.м. земных станций, которые, вероятно, будут передаваться небольшими параболическими зеркальными антеннами этих станций в полосе 13,75–14 ГГц, был проведен статистический анализ ответов на Вопросник в Административном циркуляре СА/90, выпущенный Бюро радиосвязи от имени Объединенной целевой группы 4-7-8 в 2002 году. Эти ответы были основаны на общепринятой практике в полосе 14–14,5 ГГц, но разумно ожидать, что похожая картина использования будет теперь складываться в полосе 13,75–14 ГГц. Эти ответы показали преобладание отдельных диаметров антенн в пределах рассматриваемого диапазона диаметров, которые указаны в таблице 1. Поэтому удобно было анализировать данные в четырех диапазонах диаметров антенн, а именно 1,2–1,5 м, 1,5–2,1 м, 2,1–3,1 м и 3,1–4,5 м, а результаты были получены в виде кумулятивных функций распределения (CDF), показывающих процент земных станций в функции максимальной э.и.и.м./10 МГц.

Из этих функций CDF было выведено заключение, что рассматриваемый здесь диапазон значений E лежит в пределах от 83 дБВт, что охватывает 90% земных станций с наибольшими диаметрами антенн (менее 4,5 м), до 35 дБВт, что охватывает только 30% земных станций с наименьшими диаметрами антенн (более 1,2 м).

3.4 Основа для контуров

Информация, собранная в пп. 2 и 3, позволила использовать уравнение (2) для определения дискретных значений L , требуемых потерь на трассе, которые должны превышать в течение 99% времени для выполнения предела п.п.м. в ряде подходящих случаев. Построение контуров, соответствующих этим значениям L , будет тогда определять зону на местности, где могут быть развернуты земные станции, не превышающие приемлемых уровней э.и.и.м., без принятия мер по снижению помех или проведения анализа отдельных мест размещения станций, а предел п.п.м. будет автоматически соблюдаться на отметке низшего уровня воды или во всех точках на сухопутной границе. Методом проб и ошибок было установлено, что типовые случаи можно представить в виде пяти контуров, причем основные данные для их построения приведены в таблице 2, которая составлена исходя из уравнения (2) и информации, указанной в пп. 3.2 и 3.3.

ТАБЛИЦА 2

Комбинации диаметров антенн и э.и.и.м. земных станций для соответствующих контуров

Справочный контур	Диапазон диаметров антенн (D м) и ($G_m - G(48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ)$) для минимального размера в этом диапазоне				Потери на трассе, L , превышаемые для 99% времени (дБ)
	$1,2 \leq D < 1,5$ $G_m - G(\varphi) = 53,0$ дБ	$1,5 \leq D < 2,1$ $G_m - G(\varphi) = 54,9$ дБ	$2,1 \leq D < 3,1$ $G_m - G(\varphi) = 57,8$ дБ	$3,1 \leq D < 4,5$ $G_m - G(\varphi) = 61,2$ дБ	
	E (дБ(Вт/10 МГц))	E (дБ(Вт/10 МГц))	E (дБ(Вт/10 МГц))	E (дБ(Вт/10 МГц))	
A	$\leq 36,5$	$\leq 38,4$	$\leq 41,3$	$\leq 44,7$	142,8
B	$\leq 45,5$	$\leq 47,4$	$\leq 50,3$	$\leq 53,7$	151,8
C	$\leq 54,5$	$\leq 56,4$	$\leq 59,3$	$\leq 62,7$	160,8
D	$\leq 63,5$	$\leq 65,4$	$\leq 68,3$	$\leq 71,7$	169,8
F	$\leq 72,5$	$\leq 74,4$	$\leq 77,3$	$\leq 80,7$	178,8

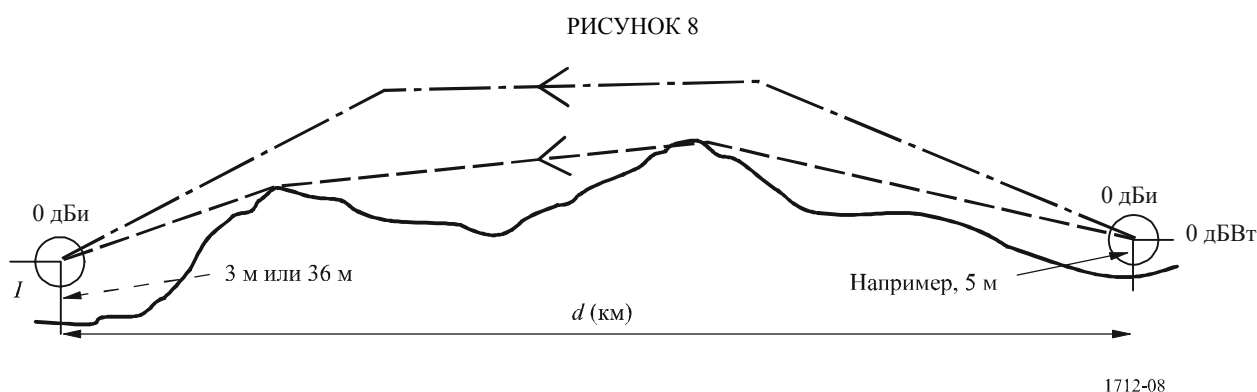
Так, например, земные станции с диаметром антенн между 2,1 м и 3,1 м и уровнями передаваемой э.и.и.м. до 59,3 дБ(Вт/10 МГц) удовлетворяли бы пределу п.п.м. на отметке низшего уровня воды или на сухопутной границе без принятия мер по снижению помех, если бы они были расположены дальше от отметки низшего уровня воды или сухопутной границы, чем контур, определяемый потерями на трассе в 160,8 дБ, не превышаемыми в течение более чем 1% времени (справочный контур С).

Используя информацию, приведенную пп. 2 и 3, можно проводить интерполяцию между контурами, основанными на этих пяти значениях потерь на трассе. Кроме того, поскольку значения L в соседних рядах отличаются на 9 дБ, из вышеуказанной таблицы можно извлечь пользу путем добавления к потерям на трассе для земной станции значения 9, 18 или 27 дБ за счет экранирования местным рельефом; используя пример из предыдущего абзаца, добавление 9 дБ за счет экранирования местностью позволит либо развертывать земную станцию на территории вплоть до контура В, либо оставаться в пределах контура С, но увеличить ее э.и.и.м. до 68,3 дБ(Вт/10 МГц).

3.5 Расчет контуров

Потери на трассах, проходящих над сушей, могут быть вычислены путем суммирования (параллельного) эффектов распространения радиоволн в свободном пространстве, поглощения в газах, дифракции, волноводного распространения в тропосфере и отражения в слоях, с использованием данных и алгоритмов в Рекомендации МСЭ-R P.452. Чтобы исключить превышение предела п.п.м. для заданного местоположения земной станции, необходимо найти линию с минимальными потерями до отметки низшего уровня воды или сухопутной границы. Для равнинной местности это будет линия между земной станцией и ближайшей точкой на отметке низшего уровня воды или сухопутной границы соседней страны (называемой в этом пункте "границей"), но это не всегда будет иметь место, когда промежуточная территория является умеренно или весьма холмистой. Таким образом, для настоящей задачи требуется программно-реализованная база данных, содержащая сведения о высотах над уровнем моря для всей рассматриваемой зоны с практически возможной точностью разрешения. Здесь можно использовать следующий метод.

Используя в качестве примера профиль местности на рисунке 6, точку измерения п.п.м. можно заменить приемником, сигнал на который поступает от изотропной приемной антенны, а передающую земную станцию ФСС – изотропной передающей антенной, как на рисунке 8:



Тогда уровень принимаемого сигнала, I , определяется как $I = 0 + 0 - L + 0$ дБВт. Иными словами, уровень I (дБВт) численно равен минусовому значению потерь L на трассе (дБ), и это действительно так, независимо от азимута приемника по отношению к передатчику. Для рассматриваемой цели уровень I должен быть вычислен способом, описанным в Рекомендации МСЭ-R P.452-11, для 1% времени.

Должна быть создана программно-реализованная модель, включающая базу данных о местности для представляющей интерес страны или зоны и состоящая из терминалов с изотропными характеристиками приема, расположенных с небольшими интервалами вдоль отметки низшего уровня воды или сухопутной границы. Следует добавить сетку из равноотстоящих изотропных излучателей 0 дБВт, охватывающую всю рассматриваемую страну или зону. Затем должен быть рассчитан вклад в уровень сигнала, I , в каждом приемнике, создаваемый каждым передатчиком, при использовании методов Рекомендации МСЭ-R P.452-11 для оценки потерь, превышенных для всего времени, кроме 1%, и все значения для каждого приемника должны быть сохранены отдельно. Программное обеспечение должно быть приспособлено для определения максимального индивидуального вклада в уровень I для каждого приемника, а также отдельного передатчика в сетке, ответственного за этот вклад². Далее, посредством выбора передатчиков, для которых максимальный вклад в уровень I наиболее близок к минусовому значению требуемых потерь L , можно построить контур, проведя линию между этими передатчиками. Для повышения точности можно использовать линейную интерполяцию между парами передатчиков, соответствующих максимальным вкладам в уровень I , которые наиболее близки как сверху, так и снизу к заданному значению, как показано на рисунке 9.

² Эта последнее свойство позволяет определить трассу с минимальными потерями до границы для любой отдельной точки на контуре в тех случаях, когда имеется сомнение в возможности соблюдения предела п.п.м. Величину угла h можно найти из профиля местности для этой трассы.

РИСУНОК 9

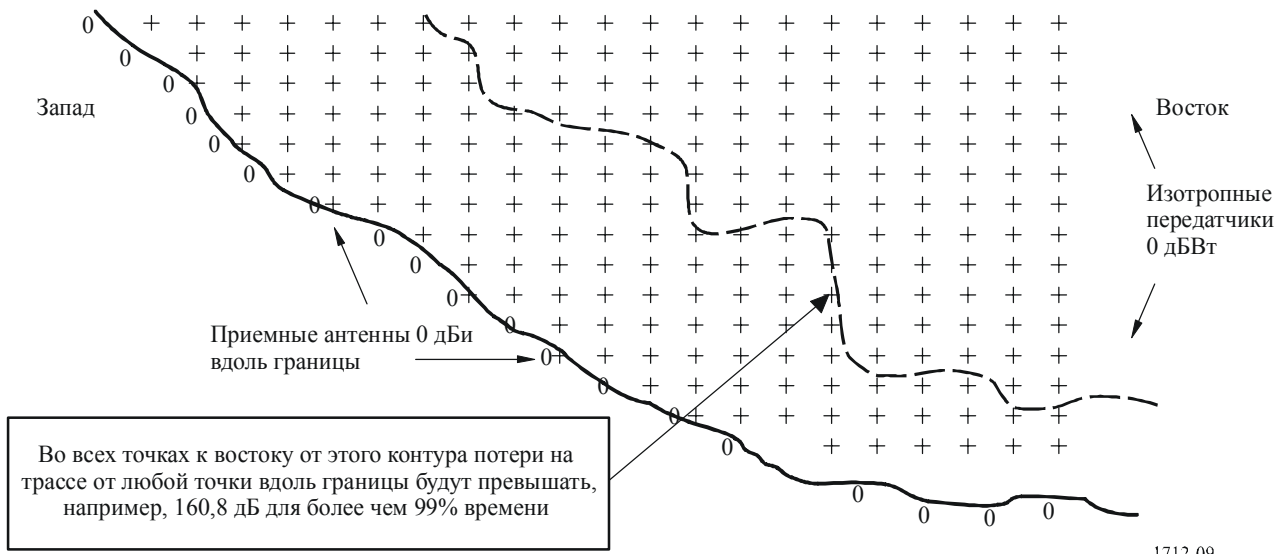
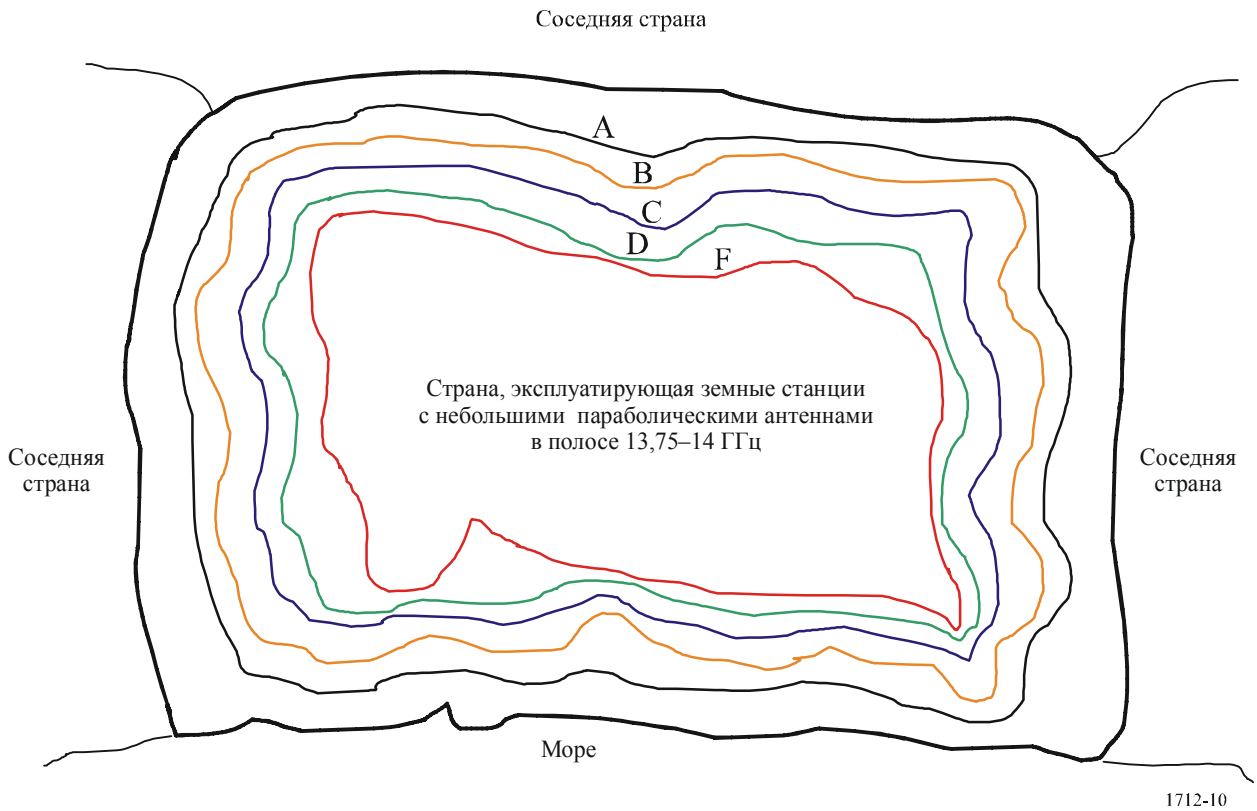


РИСУНОК 10



В зоне между контуром и отметкой низшего уровня воды или сухопутной границей, вероятно, можно будет эксплуатировать земные станции с небольшими параболическими антеннами, если применять методы снижения помех, такие как ограничение работы несущими с пониженной э.и.и.м. и/или экранирование местным рельефом, но это должно определяться на основе рассмотрения каждого конкретного случая. В каждом таком случае может использоваться предложенная здесь методика для определения трассы с минимальными потерями от места размещения станции до отметки низшего уровня воды или сухопутной границы, а также величины потерь на этой трассе, и полученные сведения будут определять степень необходимого снижения помех.

Стоит отметить, что для конкретных случаев, когда земные станции с небольшими параболическими антеннами планируются для работы в направлении одной только позиции на ГСО, могут быть вычислены контуры для конкретной системы путем адаптирования методики таким образом, чтобы каждая (+) точка на сетке рисунка 9 включала ориентирование антенны в направлении этой позиции.

3.6 Примеры применения методики, описанной в пп. 3.1–3.5

Указанная выше методика с использованием частного пакета программ, включающего глобальную базу данных о местности с горизонтальным разрешением 1 км и вертикальным разрешением 1 м, применялась для создания моделей восьми различных географических зон с целью охвата местностей различного размера, разных типов рельефа местности и климата. Для каждого пункта приема на побережье (в этих примерах на побережье устанавливалась отметка низшего уровня воды) высота антенны выбиралась равной 36 м, а для пунктов приема на сухопутных границах высота составляла 3 м. Для построения контуров, каждый из которых охватывал бы полный диапазон размеров антенн земных станций, необходимо было выбрать единую высоту для всех передающих пунктов. Для представленных расчетов была выбрана высота передачи 11,2 м. Все выбранные зоны находятся в густонаселенных регионах мира. Подробные данные указаны в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

Характеристики созданных программно-реализованных моделей

Географическая зона	Размер местности	Климат (ΔN) ⁽¹⁾	Тип местности	Разнесение приемников (км)	Интервал на сетке между передатчиками (км)	Число рассчитанных трасс ⁽²⁾
Бассейн Миссисипи	Большой	Умеренный (51)	Нехолмистый	10	10	455 224
Южная Англия	Средний	Умеренный (45)	Средне-пересеченный	10	5	83 582
Южная Турция	Средний	Умеренный (45)	Холмистый	10	10	300 000
Северо-западная Индия	Большой	Тропический (60)	Нехолмистый	10	10	702 450
Центральная Мексика	Средний	Тропический (60)	Холмистый	10	10	691 114
Куба	Большой, вытянутый в длину остров	Тропический (55)	От среднепересеченного до нехолмистого	10	10	346 626
Ява	Большой, вытянутый в длину остров	Тропический (60)	От среднепересеченного до холмистого	10	10	288 144
Кипр	Небольшой остров	Умеренный (50)	Средне-пересеченный	6	4	252 960

⁽¹⁾ ΔN – это вертикальный градиент показателя преломления радиоволн при прохождении через самый нижний слой атмосферы шириной 1 км, которая в значительной степени зависит от климата и необходима для метода расчета потерь на трассе согласно Рекомендации МСЭ-R P.452.

⁽²⁾ То есть число передающих точек на сетке, умноженное на число точек приема на границе.

Для получения полных контуров, показанных на рисунке 10, необходимо смоделировать всю границу страны, которая для больших стран потребует включения значительного количества передающих и приемных точек и, соответственно, длительного времени, необходимого для построения и расчетов. Кроме того, потребуется возможность печатать на листах, намного больших по размеру, чем А4, чтобы можно было использовать эти полные контуры с достаточной точностью. В идеальном случае можно было бы применять базу данных о местности с более высоким разрешением, чем применяется здесь, а чтобы извлечь из этого пользу, разнос между соседними передающими точками и между соседними приемными точками должен быть уменьшен, что еще больше увеличит время моделирования и расчетов. Учитывая эти факторы, администрации, вероятно, удобно моделировать те или иные части своей страны по отдельности, особенно если требуется получить по возможности самые точные контуры.

Примеры, взятые из результатов, полученных для перечисленных в таблице 3 зон, даны на рисунках 11, 12 и 13, на которых показаны контуры, соответствующие комбинациям диаметров антенн и уровней э.и.и.м. земных станций, определенным в таблице 2. Для удобства контуры обозначаются буквами А, В, С, D и F, как в таблице 2 и на рисунке 10, и для большей четкости они отображаются контрастирующими цветами.

Было установлено, что общая полная совокупность результатов надлежащим образом показывает эффективность методики данного Приложения при определении возможных мест размещения большей части земных станций ФСС, использующих полосу 13,75–14 ГГц, без превышения пределов п.п.м. в п. 5.502 РР. Однако для оценки мест размещения вблизи контуров операторам ФСС в рассматриваемых странах лучше было бы использовать более подробные карты, базу данных о местности с более высоким разрешением, а также большую плотность передающих и приемных пунктов на модель.

Рисунок 11, Бассейн реки Миссисипи, Соединенные Штаты Америки

Как ожидается, контуры для наименьших уровней э.и.и.м. расположены ближе всего к отметке нижнего уровня воды, тогда как контуры для наибольших уровней э.и.и.м. находятся на максимальном удалении от этой отметки. Средние расстояния от отметки нижнего уровня воды изменяются от примерно 30 км для контура А до примерно 130 км для контура F, и таким образом зоны между контурами и отметкой нижнего уровня воды представляют собой довольно большие зоны, в которых земные станции, передающие указанные уровни э.и.и.м. и не применяющие экранирования местностью или других методов снижения помех, не могут на законных условиях использовать полосу 13,75–14 ГГц. Это происходит из-за того, что местность в бассейне реки Миссисипи является сравнительно ровной и поэтому уровень дифракционных потерь относительно низкий. К счастью, Соединенные Штаты Америки – большая страна, и поэтому та часть ее сухопутной территории, на которой использование этой полосы для ФСС будет иметь ограничения, весьма невелика.

Рисунок 12, Центральная Мексика

То, что Мексика – горная страна, расположенная в основном намного выше уровня моря, обеспечивает работу земных станций на большей части ее территории без превышения предела п.п.м. на ее границах. Рельеф местности вблизи южного побережья таков, что разница между пятью контурами невелика и ограничения при работе в полосе 13,75–14 ГГц будут испытывать только земные станции в пределах (в среднем) примерно 20 км от моря. Вблизи северного побережья с ограничениями столкнутся земные станции на довольно большой территории из-за нескольких относительно низких участков суши вокруг речных долин, но даже там средние расстояния между контуром и морем меньше, чем в северо-западной части Индии или в бассейне реки Миссисипи, несмотря на тропический климат.

Рисунок 13, Куба (Карибский бассейн)

Очевидно, что, хотя контур А покрывает большую часть территории Кубы, контуры В, С, D и F охватывают лишь малые или очень малые участки этого вытянутого в длину острова, и следовательно, потребуется применение одного или нескольких методов снижения помех, описанных

в Приложении 4, если только эта мера не окажется удовлетворительной лишь для намечаемых к работе несущих с низким уровнем э.и.и.м. (см. таблицу 2). Вследствие этого были проведены адаптированные расчеты для построения дополнительного контура G, соответствующего минимальным потерям на трассе до отметки низшего уровня воды для всего времени, кроме 1%, 138 дБ, то есть примерно на 5 дБ меньше, чем в случае контура А. Из этого следует, что если на земной станции, соответствующей первому ряду в таблице 2, можно обеспечить снижение помех на 5 дБ, то данная станция выполнит предел п.п.м. в случае ее размещения где-то внутри контура G. Аналогичным образом, если к земной станции, соответствующей второму ряду в таблице 2, можно применить метод снижения помех на 14 дБ, то такая станция также может быть размещена где-то внутри контура G. И снижение на 23 дБ для третьего ряда и т. д.

Кроме того, использование метода снижения помех на 9 дБ на любой земной станции, соответствующей одному из рядов в таблице 2, даст возможность разместить ее в пределах контура, определяемого следующим верхним рядом в таблице.

РИСУНОК 11

Контур, за пределами которого земные станции без экранирования соблюдают предел п.п.м. = $-115 \text{ дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot 10 \text{ МГц}))$ на побережье для 99% времени

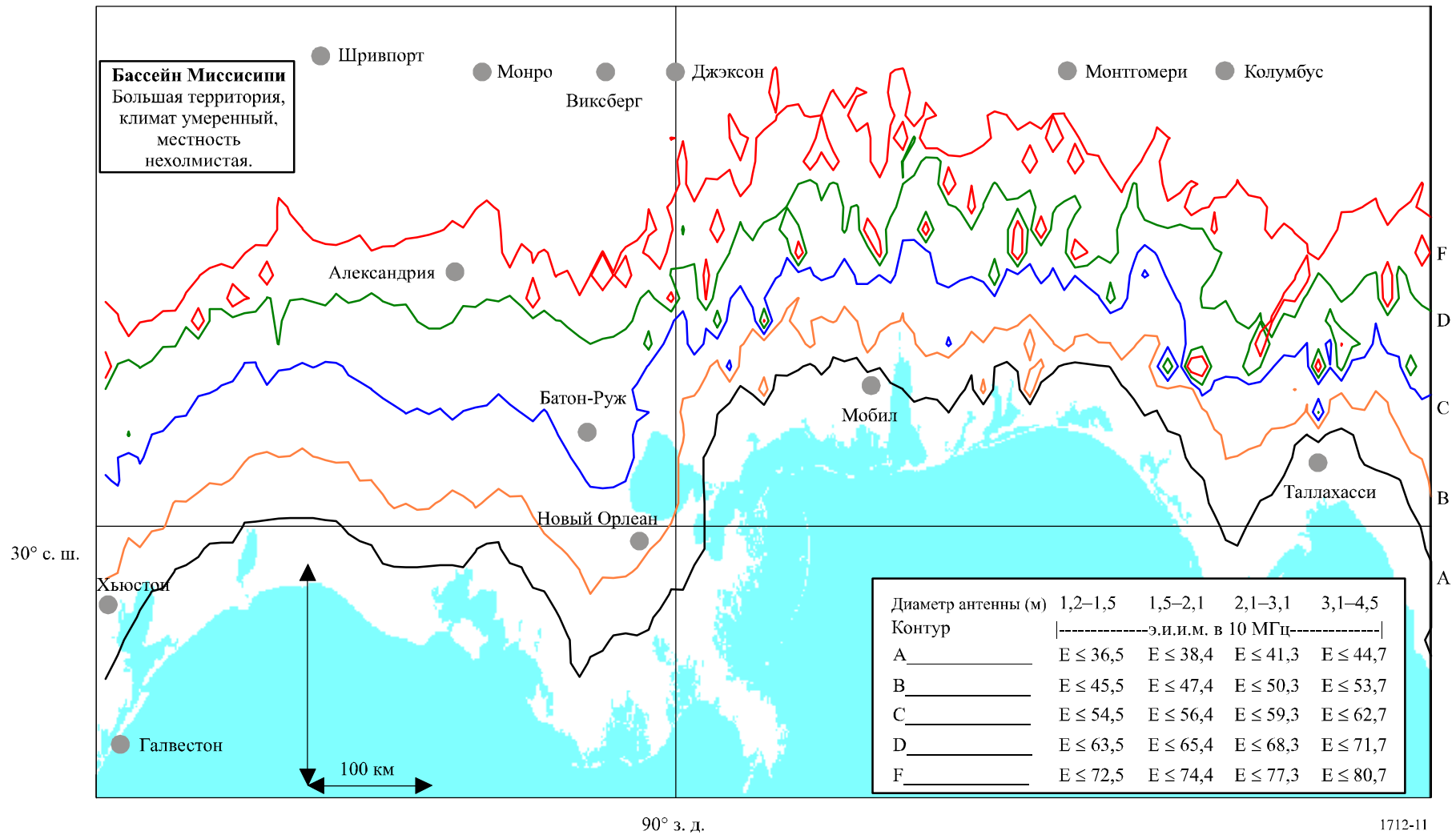
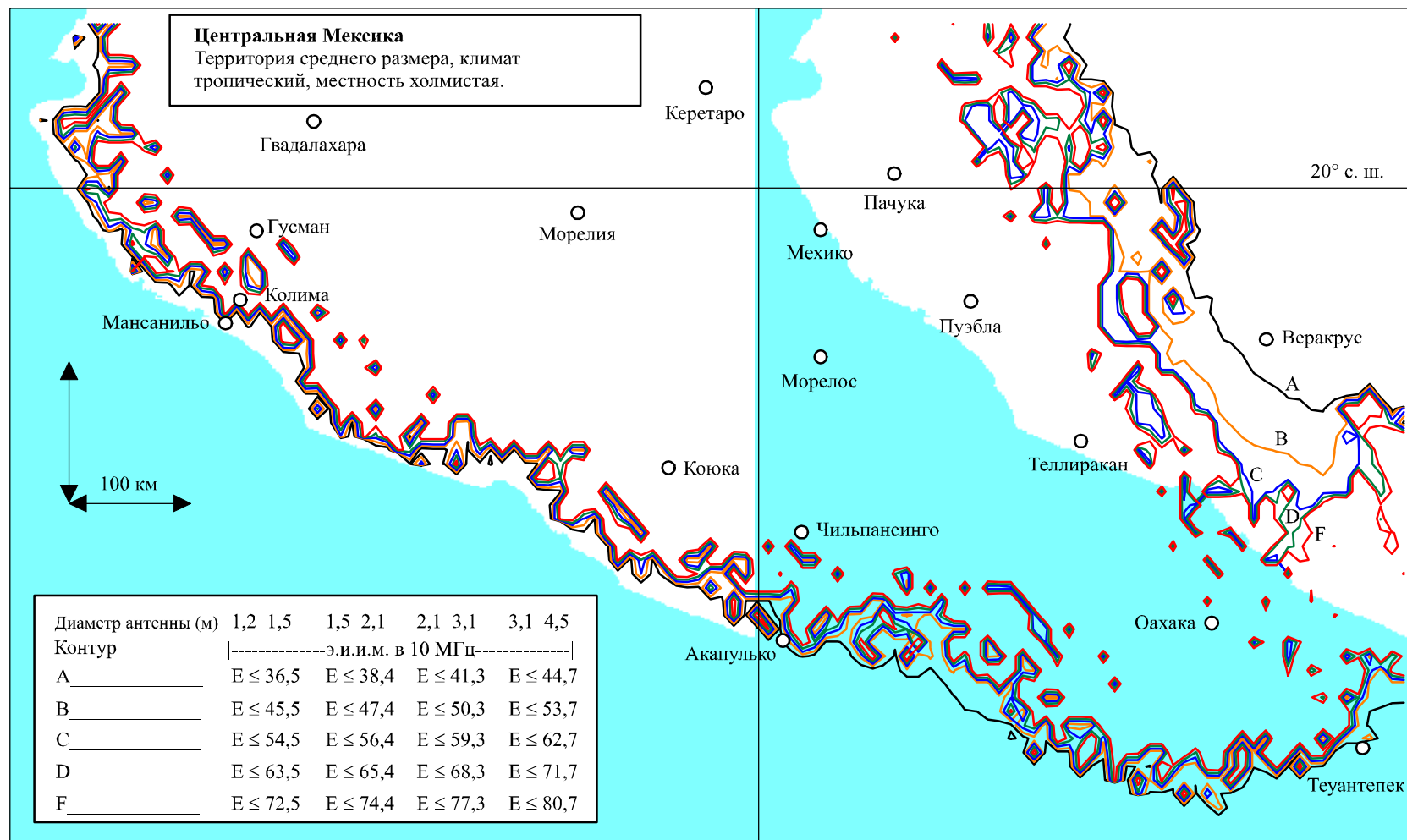


РИСУНОК 12

Контур, за пределами которого земные станции без экранирования соблюдают предел п.п.м. = $-115 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 10 \text{ МГц))}$ на побережье для 99% времени

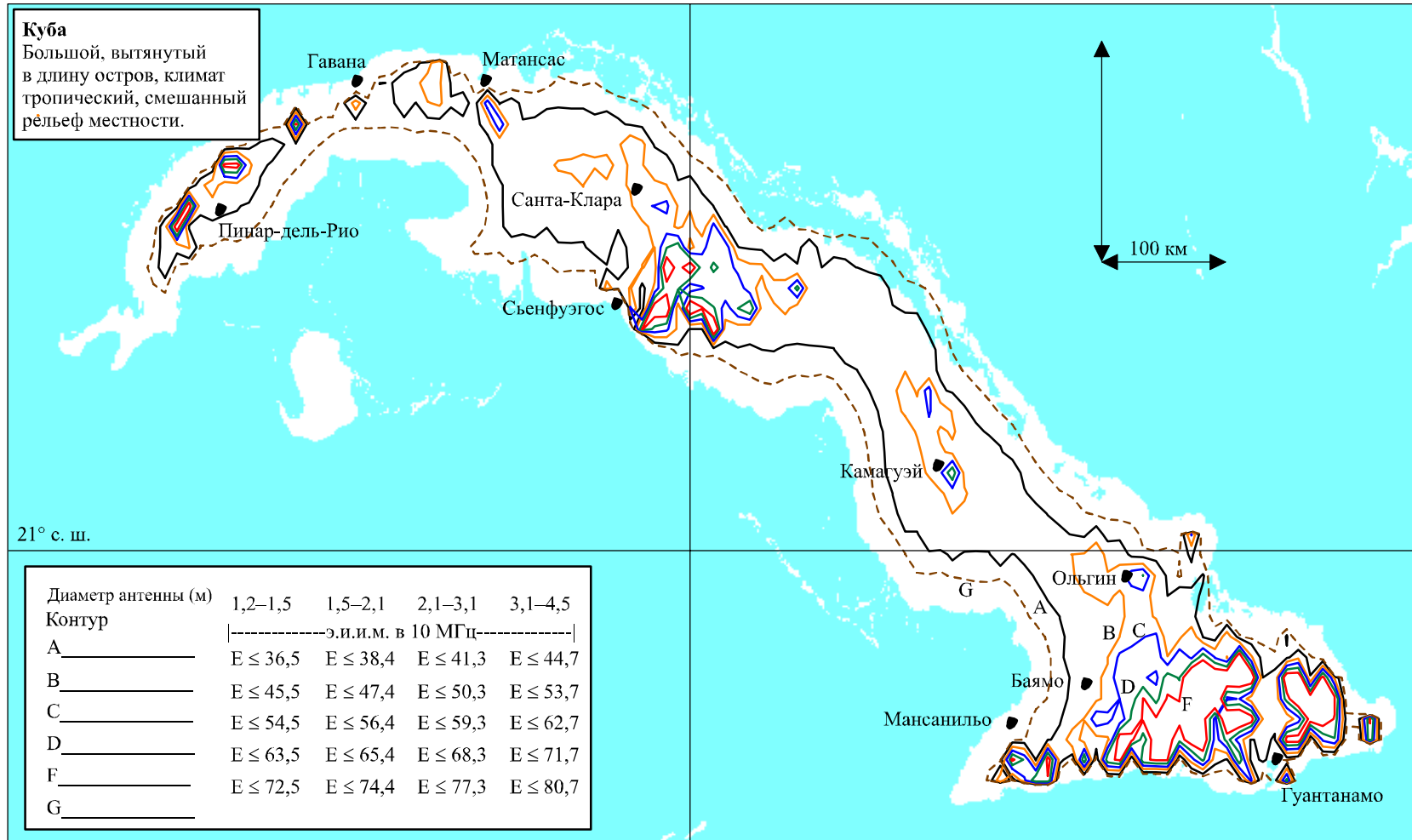


100° з. д.

1712-12

РИСУНОК 13

Контур, за пределами которого земные станции без экранирования соблюдают предел п.п.м. = $-115 \text{ дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot 10 \text{ МГц}))$ на побережье для 99% времени



80° з. д.

1712-13

Приложение 3

Метод 3: Метод для проверки соответствия земной станции ФСС пределам п.п.м. в п. 5.502 РР, основанный на анализе конкретных мест размещения станций

1 Общие положения

В основе этого метода лежит выполнение анализа конкретных мест размещения для каждой развертываемой земной станции ФСС. Развертывание может продолжаться, если результаты анализа показывают, что земная станция может удовлетворять критериям пределов п.п.м. в п. 5.502 РР. Анализ выполняется с использованием цифровых данных о местности наряду с параметрами земных станций ФСС, подходящими моделями распространения радиоволн и любыми другими данными, обусловленными экранированием за счет природных или промышленных объектов. Ожидается, что метод 3 будет применяться только в тех случаях, когда отмечается, что потенциальное место развертывания не может соответствовать пределам п.п.м. при использовании метода 1 или метода 2.

2 Описание метода 3

Этап 1: Требуется цифровые данные о местности, которые включают место размещения земной станции и окружающую зону. Эти данные должны охватывать достаточную область для надлежащего выполнения анализа п.п.м. Рекомендуется, чтобы разрешение цифровых данных о местности составляло по крайней мере 30 дуговых секунд по горизонтали и 1 м по вертикали (например, GTOPO30 или GLOBE). Если для рассматриваемой администрации доступна модель с более высоким разрешением, то ее использование поощряется.

Этап 2: Для проведения анализа потребуются данные о параметрах развертываемой земной станции ФСС. Эти параметры включают размер антенны земной станции, высоту над окружающей местностью, спектральную плотность несущей и присвоение(я) ГСО спутника. Соответствующей эталонной диаграммой излучения земной станции для этого метода может быть диаграмма, предоставленная оператором земной станции, или же диаграмма, определенная в подходящих Рекомендациях МСЭ-R. Следует отметить, что если на земной станции предполагается возможность использования значительно различающихся направлений ориентирования либо потому, что она может быть перенаправлена в будущем, либо если во время первоначального развертывания требуется альтернативный ГСО спутник, то для каждого из этих направлений ориентирования нужно будет выполнить анализ для конкретных мест размещения.

Этап 3: Как и в случае двух первых методов, наилучшей моделью распространения, подходящей при проведении анализа для конкретных мест размещения, является модель в Рекомендации МСЭ-R P.452-11.

Этап 4: Параметры земной станции ФСС, цифровые данные о местности и модели распространения дают возможность рассчитать потери на трассе для всех направлений вокруг потенциального места размещения. Эти сведения, в свою очередь, позволяют получить значение п.п.м. на отметке низшего уровня воды или на сухопутной границе соседней страны, создаваемой станцией. Если критерии пределов п.п.м. в п. 5.502 РР удовлетворяются, то развертывание станции может продолжаться. В противном случае, вероятно, необходимо будет применять дополнительные методы снижения помех. Следует отметить, что в некоторых местах размещения станций, в частности в местах, расположенных в пределах прямой видимости отметки низшего уровня воды или сухопутной границы, развертывание может быть затруднено. К этому методу можно применить дополнительное ослабление местностью, вызванное экранированием за счет природных или промышленных объектов. Определение точного уровня ослабления из-за экранирования местностью потребует дополнительного изучения вместе с анализом, использующим указанные выше модели.

Этап 5: Измерение горизонтального профиля вокруг земной станции в ходе обзора мест ее размещения, исходя из которого в расчетах по определению п.п.м. на отметке низшего уровня воды или на сухопутной границе, создаваемой станцией, могут быть получены и применены сведения о фактическом ослаблении в результате экранирования местным рельефом, а также сведения о фактическом рельефе местности.

Приложение 4

Дополнительные соображения, касающиеся небольших с географической точки зрения стран или стран с малой по ширине территорий, используемые в целях удовлетворения критериев в п. 5.502 РР и/или в качестве основы для достижения двусторонних соглашений при превышении пределов в п. 5.502 РР

1 Общие положения

Если страна является небольшой с географической точки зрения или имеет малую по ширине территорию, то контуры, основанные на методах 1 и 2 (Приложения 1 и 2), могут исключить большую часть территории.

В Резолюции 144 (ВКР-03) решено, что администрации небольших с географической точки зрения стран или стран с малой по ширине территорий могут превышать приведенные в п. 5.502 РР ограничения на плотность потока мощности земных станций ФСС на отметке низшего уровня воды, если такая работа находится в соответствии с двусторонними соглашениями с администрациями, развертывающими морские радиолокационные системы в полосе 13,75–14 ГГц.

В приведенных далее разделах представлены меры, которые могут быть приняты любой администрацией, чтобы содействовать выполнению требований в п. 5.502 РР. Эти же соображения могли бы учитываться в двусторонних переговорах, касающихся небольших с географической точки зрения стран или стран с малой по ширине территорий. Условия для каждой страны сильно различаются, и в данном Приложении не делается никаких попыток для их обобщения. Каждый случай целесообразно рассматривать по его выигрышным характеристикам с целью принятия решения относительно возможностей, которые следует учитывать, и степени, в которой они применимы.

2 Ограничения работы в полосе 13,75–14 ГГц для несущих со средней или низкой э.и.и.м.

Для определения величины снижения максимального уровня э.и.и.м., обеспечиваемой за счет ограничения относительного числа несущих в диапазоне 14 ГГц по сравнению с числом задействованных в настоящее время несущих в полосе 14–14,5 ГГц, может использоваться таблица 4. Эти результаты были получены путем использования всех имеющихся в распоряжении данных для вычисления кумулятивных распределений, по которым определялся процент земных станций в зависимости от э.и.и.м. в полосе 10 МГц для каждого из четырех диапазонов размеров антенн. Так, за счет отказа от возможности развертывания 20% земных станций с диаметрами антенн 1,2–1,5 м, которые ведут передачи на конце диапазона с высокими уровнями э.и.и.м., все другие земные станции смогут работать на территории вплоть до контура, соответствующего трассе до границы с минимальными потерями, сниженными на 9 дБ, без превышения предела п.п.м. в любой точке границы.

ТАБЛИЦА 4

Снижение максимальной э.и.и.м. в полосе 10 МГц за счет ограничения относительного числа несущих

Диапазон диаметров антенн	Уменьшение относительного числа несущих			
	От 100 до 80%	От 80 до 60%	От 60 до 40%	От 40 до 20%
$1,2 \text{ м} \leq D < 1,5 \text{ м}$	$55 - 46 = 9 \text{ дБ}$	$46 - 42 = 4 \text{ дБ}$	$42 - 39 = 3 \text{ дБ}$	$39 - (-2) = 41 \text{ дБ}$
$1,5 \text{ м} \leq D < 2,1 \text{ м}$	$70 - 49 = 21 \text{ дБ}$	$49 - 47 = 2 \text{ дБ}$	$47 - 47 = 0 \text{ дБ}$	$47 - 43 = 4 \text{ дБ}$
$2,1 \text{ м} \leq D < 3,1 \text{ м}$	$85 - 61 = 24 \text{ дБ}$	$61 - 52 = 9 \text{ дБ}$	$52 - 52 = 0 \text{ дБ}$	$52 - 52 = 0 \text{ дБ}$
$3,1 \text{ м} \leq D < 4,5 \text{ м}$	$95 - 71 = 24 \text{ дБ}$	$71 - 63 = 8 \text{ дБ}$	$63 - 56 = 7 \text{ дБ}$	$56 - 47 = 9 \text{ дБ}$

Если бы можно было допустить заданное сокращение относительного числа земных станций в конкретном диапазоне размеров антенн, которые в противном случае будут задействованы в полосе 13,75–14 ГГц, то таким образом можно было бы определить соответствующее уменьшение максимальной э.и.и.м., а также вычислить подходящий контур, как описано в Приложении 2. Этот контур будет охватывать более значительную часть страны с небольшой с географической точки зрения территорией, чем в случае, когда данное ограничение не было бы принято.

3 Применение экранирования местным рельефом к земным станциям

Максимальные помехи, создаваемые любой земной станцией в пределах страны на отметке низшего уровня воды или на сухопутной границе соседней страны, можно снизить при использовании дополнительного ослабления сигналов за счет экранирования места размещения данной земной станции. Это можно сделать, либо расположив антенну позади здания или другого препятствия в направлении ближайшей точки, в которой должен быть обеспечен требуемый уровень п.п.м., либо добавив на той стороне экран из ослабляющего сигнала материала. Поскольку целесообразность и/или эффективность таких мер с точки зрения затрат зависят от ситуации, возможность их реализации можно оценить только на основе анализа каждого конкретного случая. Хотя использование экрана перед антенной уменьшит помехи в направлении горизонта, полезный эффект может быть сведен на нет из-за усиления сигнала, вызванного отражениями от зданий или других объектов вблизи антенны. Кроме того, затруднительно получить эффективное экранирование, если антенна работает с относительно небольшим углом места, а ближайший участок границы расположен, как правило, в направлении экватора. Другим фактором является то, что затраты, связанные либо с расположением антенны позади здания, либо с добавлением искусственного экрана, могут существенно увеличить стоимость терминала с небольшой параболической антенной.

Сектор МСЭ-R рассмотрел уровни ослабления за счет экранирования и отражений от местных объектов, вычисленные с использованием эмпирических алгоритмов в Рекомендациях МСЭ-R P.452 и МСЭ-R P.526, и сравнил их с результатами измерений, о которых сообщалось в Соединенном Королевстве в 1995 году. В предварительном заключении МСЭ-R отмечалось, что в случаях практической осуществимости возможный уровень ослабления за счет экранирования местностью будет находиться, как правило, в интервале от 5 до 20 дБ, в зависимости от ситуации, и вряд ли превысит 25 дБ. Для подтверждения этого заключения и расширения возможностей экранирования местностью необходимо проведение дополнительных работ.

После оценки степени ослабления (A дБ) за счет экранирования местностью, достижимого для конкретного места размещения станции, и применения методики в Приложении 2 для нахождения величины и направления до границы минимальных потерь L , определяется максимальная э.и.и.м. в полосе 10 МГц, которую земная станция в данном месте размещения могла бы передавать без превышения предела п.п.м. в п. 5.502 РР; для этого может использоваться уравнение (2), перестроенное и включающее величину A , т. е. $E = L + A + (G_m - G(\varphi)) - 159,29$ дБВт.

4 Выбор диаметра антенны земной станции

Если уровень ослабления в направлении трассы с минимальными потерями до отметки низшего уровня воды или сухопутной границы соседней страны недостаточен для соблюдения планируемыми земными станциями пределов п.п.м. (но эта нехватка выражается лишь небольшими числами), то одной из возможностей могло бы стать применение антенны с немного большими размерами, чем это было бы необходимо в противном случае. Это позволит снизить мощность передатчика на величину, равную разности в усилении антенн, при этом внеосевая э.и.и.м. уменьшается на ту же величину. Поскольку усиление антенны пропорционально квадрату диаметра D , в таблице 5 приводятся некоторые изменения величины D , с тем чтобы компенсировать возможные превышения пределов п.п.м. в вероятном представляющем интерес диапазоне значений.

ТАБЛИЦА 5

Увеличение диаметров антенн для компенсации недостаточного ослабления

Превышение п.п.м., которое нужно компенсировать	1 дБ				2 дБ				3 дБ				4 дБ			
	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1
Диаметр базовой антенны (м)																
Диаметр заменяющей антенны (м)	1,35	1,68	2,02	2,36	1,51	1,89	2,27	2,64	1,70	2,12	2,54	2,97	1,90	2,38	2,85	3,33

5 Попытки достижения двусторонних соглашений при превышении пределов п.п.м.

Если страна является небольшой по размерам, то протяженность границы, вблизи которой радиолокационные терминалы в соседних странах или на море могут испытывать помехи от земных станций ФСС, расположенных в пределах рассматриваемой страны, также невелика, поэтому общее мешающее воздействие на радиолокационную службу может быть, соответственно, небольшим. Следовательно, для небольших по размерам стран было бы возможно заключить соглашение в отношении терминалов в полосе 13,75–14 ГГц в этой зоне, когда предел п.п.м. превышает на определенную величину, например 5 дБ или 10 дБ.

По идее, можно, по-видимому, достичь соглашения, с тем чтобы сделать менее строгими условия превышения предела п.п.м. по времени (в процентах), а не снижать уровень п.п.м., например разрешить превышение уровня -115 дБ(Вт/м²) в течение, скажем, 5% времени вместо 1%. Однако исследования МСЭ-R показали, что, по крайней мере в случае среднепересеченной местности в умеренном климате, контуры для ряда конкретных уровней потерь на трассе изменяются весьма незначительно, если процент времени увеличивается выше значения, равного примерно 0,5% (хотя эти контуры имеют тенденцию к существенному ухудшению с точки зрения ФСС, если процент времени уменьшается ниже этой цифры). Поэтому, как представляется, на практике небольшие увеличения уровня п.п.м. могут быть предметом рассмотрения, но вряд ли будет иметь смысл обсуждать на двусторонних переговорах увеличение процента времени.

6 Попытки достижения двусторонних соглашений с целью отказа от предела п.п.м. для части полосы

Если сигналы отдельных мобильных радиолокационных станций в пределах полосы 13,75–14 ГГц занимают полосу шириной значительно меньше, чем 250 МГц, то для небольших по размерам стран можно было бы ограничить использование службы ФСС лишь частью полосы, а для другой администрации можно было бы использовать для своих мобильных радиолокационных терминалов только оставшуюся полосу, когда они находятся вблизи небольшой по размерам страны. Это было бы формой ограниченной сегментации полосы частот.

В ходе статистического анализа имеющихся данных было отмечено, что большая часть земных станций в диапазоне 14 ГГц с антеннами диаметром 1,2–4,5 м передают одиночные несущие с шириной полосы менее, чем 10 МГц, и что очень мало станций работают на несущих, использующих полосу шириной более, чем 36 МГц. Критерием, используемым в 8-й Исследовательской комиссии по радиосвязи для защиты радиолокационных терминалов в диапазоне 14 ГГц, является отношение I/N , равное -6 дБ в полосе шириной 10 МГц, и это предполагает, что значения ширины полосы типичных радиолокационных сигналов в полосе 13,75–14 ГГц составляют примерно 10 МГц. Следовательно, данная идея, по-видимому, будет предметом рассмотрения при заключении двусторонних соглашений, основанных на сегментации полосы, несмотря на то, что она может считаться применяемым только в крайнем случае средством, поскольку уменьшит объем спектра, доступного для обеих служб, хотя бы только в небольших по размерам странах или вокруг них. Тем не менее при рассмотрении вариантов с сегментацией полосы частот следует иметь в виду положения п. 5.503 РР.