

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1781

Возможная методика совместного использования частот двунаправленными геостационарными сетями фиксированной спутниковой службы, включающими повсеместно развернутые земные станции

(Вопрос МСЭ-R 209/4)

(2007)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлена методика установления совместимости частот двух систем фиксированной спутниковой службы на основе координации зон, когда в одной или в обеих системах задействуется большее количество повсеместно развернутых наземных терминалов и терминалы одной системы работают на передачу, в то время как терминалы другой системы работают на прием в тех же полосах частот, распределенных ФСС в двух направлениях.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что существует растущая заинтересованность в повсеместном развертывании земных станций типа VSAT (терминалы с очень малой апертурой антенны) фиксированной спутниковой службы (ФСС), т. е. в установке и эксплуатации земных станций без индивидуальных лицензий, а с общей лицензией на систему, в которой они работают;
- b) что в таких случаях точные местоположения конкретных земных станций были бы неизвестны в момент проведения координации частот для системы;
- c) что необходимость развертывания большого количества земных станций сделала бы сложной их координацию для каждого места расположения;
- d) что некоторые полосы частот, в которых такое развертывание было бы желательным, распределены ФСС в двух направлениях;
- e) что к некоторым полосам, распределенным ФСС в двух направлениях, применяются также конкретные регламентарные положения, например положения Плана выделений ФСС или Плана Приложения 30А к Регламенту радиосвязи (РР);
- f) что некоторые администрации могут выбрать некоторую форму координации зон, в пределах которых земные станции типа VSAT ФСС могут работать в одном направлении передачи;
- g) что в случаях, описанных в пункте f) раздела *учитывая*, администрациям может быть полезно иметь методики определения общей координационной зоны на основе технических критериев их выбора,

отмечая,

- a) что координационный контур вокруг района, в котором та или иная администрация желает провести координацию зон, может граничить с другими зонами координации, имеющимися на территории той же администрации, или с международными границами;

b) что администрациям было бы необходимо определить полосы частот и соответствующие географические зоны, в которых можно было бы реализовать любой метод координации, связанный с большим количеством терминалов, работающих в той же полосе,

признавая,

a) что администрации могут следовать двусторонним соглашениям, находящимся вне сферы применения РР;

b) что администрации свободны в выборе уровня защиты, предоставляемой земным станциям типа VSAT ФСС, развернутым на их территории;

c) что в случае проведения международной координации администрации должны были бы достичь согласия в отношении рассматриваемых характеристик земных станций и их защиты;

d) что такие факторы, как защита приемных земных станций от передающих земных станций большой мощности, расположенных на территории администраций, не включенных в двустороннее соглашение, могут указывать на желательность регистрации приемных земных станций в Бюро радиосвязи вне зависимости от того, охвачены ли они двусторонним соглашением или нет;

e) что в случае земных станций, планируемых для работы в полосах, распределенных ФСС в двух направлениях, в соответствии с конкретными регламентарными положениями, администрации должны также учитывать эти положения при планировании их развертывания,

рекомендует,

1 администрациям, намеренным на основе координации зон осуществлять выдачу лицензий повсеместно развертываемым земным станциям типа VSAT ФСС, работающим в полосах, распределенных ФСС в двух направлениях, рассмотреть использование руководящих принципов, приведенных в Приложении 1 к настоящей Рекомендации.

Приложение 1

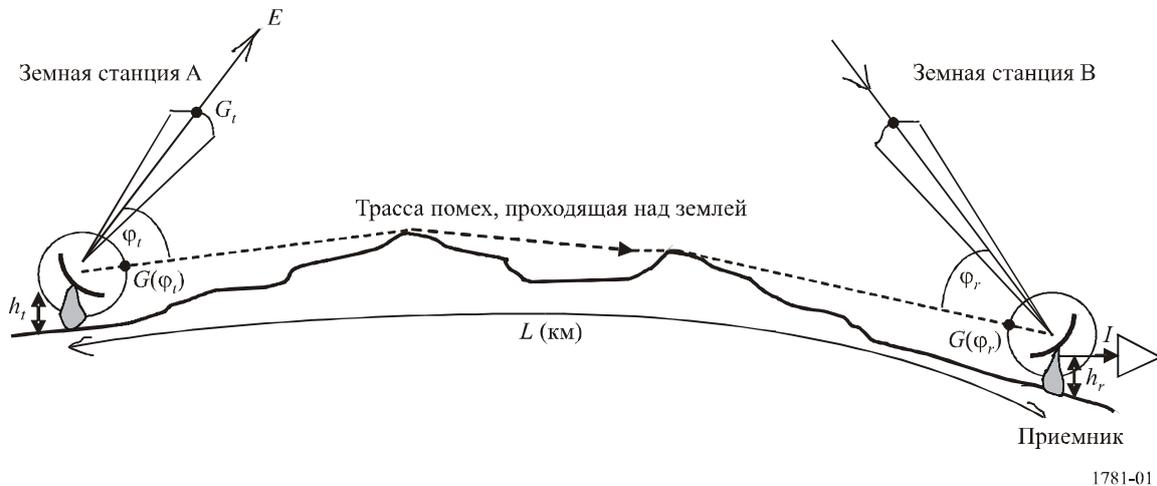
1 Введение

В настоящем Приложении содержатся элементы методики для установления частотной совместимости двух систем ФСС, когда в одной или в обеих системах задействовано большое количество повсеместно развернутых наземных терминалов и терминалы одной системы работают на передачу, в то время как терминалы другой системы работают на прием.

Анализ, представленный в настоящем Приложении, основан на параметрах систем, используемых в полосе 12,5–12,75 ГГц. Поскольку в этой полосе распределения ФСС в двух направлениях применяются только в Районе 1, необходимо использовать в качестве примеров страны Района 1. Однако методика является общей и может быть применена к любым полосам, в которых существует совместное использование частот ФСС в двух направлениях.

2 Методика

РИСУНОК 1



1781-01

В примере, показанном на рис. 1, земная станция А работает на геостационарный спутник, оборудованный для использования распределения (Земля-космос) ФСС 12,5–12,75 ГГц, тогда как земная станция В работает на другой геостационарный спутник, использующий распределение (космос-Земля) ФСС 12,5–12,75 ГГц. Земная станция А передает фазоманипулированную несущую с центральной частотой 12,625 ГГц и спектральной плотностью э.и.и.м. E дБ(Вт/МГц) и через трассу, проходящую над землей, создает помехи приему земной станцией В другой фазоманипулированной (ФМН) несущей с центральной частотой 12,625 ГГц. Спектральная плотность помех I на входе приемника земной станции В задается тогда выражением:

$$I = E - G_t + G(\varphi_t) - pl + G(\varphi_r) \quad \text{дБ(Вт/МГц)}, \quad (1)$$

где

- G_t : усиление в направлении главной оси антенны земной станции А (дБи);
- $G(\varphi_t)$: усиление антенны земной станции А к горизонту в направлении земной станции В (дБи);
- pl : потери при распространении на трассе между двумя станциями (дБ);
- $G(\varphi_r)$: усиление антенны земной станции В к горизонту в направлении земной станции А (дБи);
- φ_t : внеосевой угол на земной станции А к горизонту в направлении земной станции В (градусы); и
- φ_r : внеосевой угол на земной станции В к горизонту в направлении земной станции А (градусы).

Вместо применения предположений для абсолютного случая возможно создать контуры, в пределах которых развертывание станций ФСС, работающих в противоположных направлениях передачи в тех же полосах, было бы совместимым для любого заданного процента случаев благодаря соответствующему выбору параметров, которые должны использоваться в уравнении (1).

Например, в 2002 году в обследовании МСЭ-R существующих и планируемых земных станций ФСС были приведены статистические данные по диаметрам антенн, их э.и.и.м. и ширине полос передаваемых несущих. Обследование охватывало около 127 000 терминалов с антеннами диаметром от 1,5 до 2,1 м. Несмотря на то, что обследование было, в основном, сосредоточено на земных станциях, разработанных для передачи в полосе 14–14,5 ГГц, можно допустить, что в обследовании, сосредоточенном на полосе 12,5–12,75 ГГц, были бы получены аналогичные статистические данные

хотя и на основе меньшей базы данных. Эти результаты могли бы использоваться для того, чтобы сделать соответствующие предположения в отношении параметров E и G_i в уравнении (1).

Значения φ_i или φ_r зависят от широты и долготы земной станции, долготы спутника, на который она работает, и пеленга по азимуту другой земной станции. Изменение φ в зависимости от этих параметров рассчитано в Приложении 1, в котором показано также, как вывести интегральные функции распределения внеосевых углов для помех между земными станциями, работающими в противоположных направлениях передачи, так чтобы могли быть выбраны соответствующие значения φ_i и φ_r для использования в уравнении (1).

2.1 Методика, применимая к примеру ситуации на международном уровне

Обследование МСЭ-R существующих и планируемых земных станций ФСС, проведенное в 2002 году, показало, что наиболее распространенный диаметр антенн, установленных к тому времени и работающих в полосе 14–14,5 ГГц, составлял около 1,8 м и что 98% таких антенн осуществляли передачу несущих, э.и.и.м. которых не превышали 52 дБВт, а ширина полосы не превышала 1 МГц. Поэтому для данного примера были выбраны значения $E = 52$ дБ(Вт/МГц) и $G_i = 10 \log((0,65)\{\pi(1,8)/\lambda\}^2) = 45,7$ дБи.

Как показано в Дополнении 1, примерно для 96% земных станций φ_i и φ_r будут не менее 25° , поэтому $G(\varphi_i)$ и $G(\varphi_r)$ не будут превышать -3 дБи. В Дополнении 1 показано также, что если $G(\varphi_i) \cong -3$ дБи, то с достаточной осторожностью можно допустить, что $G(\varphi_r) \cong -10$ дБи, и наоборот.

Если принять эти значения для E , G_i , $G(\varphi_i)$ и $G(\varphi_r)$ в качестве характерного почти худшего случая, то уравнение (1) принимает вид:

$$I = -6,7 - pl \quad \text{дБ(Вт/МГц)}. \quad (2)$$

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R S.1323 линия ГСО ФСС должна быть разработана на основе того, что "суммарная мощность помех со стороны излучений земных и космических станций всех других сетей ГСО ФСС ... не превышает на входе демодулятора, ... 20% от общей мощности шума системы в условиях ясного неба...". В целях настоящего примера предполагается, что суммарные помехи включают равные вклады со стороны излучений линий вверх и вниз всех систем ГСО ФСС, работающих в одном и двух направлениях в полосе 1 МГц с центральной частотой 12,625 МГц. Таким образом, суммарные помехи, принимаемые на земной станции В со стороны всех земных станций, использующих эту полосу 1 МГц в направлении Земля-космос, ограничены здесь максимально 5% бюджета шума линии.

За исключением сетей CDMA, в тот же момент времени только одна земная станция может осуществлять передачу на данный спутник при заданных частоте несущей и направлении поляризации в пределах покрытия заданного луча приема, поскольку линии вверх нескольких работающих в том же луче на одной частоте несущих создавали бы сильные взаимные помехи. (Несмотря на то, что CDMA позволяет сосуществовать при данных обстоятельствах n таким несущим, в этом случае э.и.и.м. несущей каждой земной станции составляет только около $1/n$ -й от э.и.и.м. одиночной земной станции, использующей FDMA.) На широтах вблизи 50° ГСО проходит выше угла места 10° в любой отдельной точке на поверхности Земли в диапазоне долгот 120° (т. е. $\pm 60^\circ$). Минимальный разнос спутников, частоты и зоны покрытия которых совпадают, в Районах 1 и 3 МСЭ составляет около 3° , а в Районе 2 – около 2° . Из этого следует, что в пределах в заданной зоне покрытия 40–60 земных станций могут осуществлять передачу на той же частоте несущей и при той же поляризации на различные спутники ГСО, помехи между их линиями вверх будут находиться в допустимых рамках благодаря избирательности, обеспечиваемой диаграммами направленности передачи их антенн.

Однако, даже если в рассматриваемой полосе несущей ресурс спектра ГСО был таким образом полностью использован, весьма маловероятно, что все земные станции, осуществляющие передачу в общей зоне покрытия, будут расположены достаточно близко к данной земной станции, принимающей несущую на совпадающей частоте, чтобы создавать значительные помехи этой земной

станции. Прежде всего, вероятно, ресурс будет поделен между несколькими странами, поскольку типичный луч спутника, работающего в полосе 14–14,5 ГГц, рассчитан на континентальное покрытие, а не на национальное. Таким образом, в данных целях допущение наличия десяти спутников, осуществляющих передачу в полосе 1 МГц на частоте 12,625 ГГц и создающих помехи той же земной станции, работающей на прием на этой частоте, считается достаточно осторожным. Поэтому в настоящем исследовании максимальные помехи со стороны одной земной станции А, создаваемые земной станции В, в условиях ясного неба ограничены 0,5% бюджета шума системы.

Поскольку условия распространения затрагивают помехи через трассы, проходящие над сушей, необходимо знать процент времени, для которого применяются условия "ясного неба". В Рекомендации МСЭ-R S.1062 допускается превышение требуемого долговременного КОБ не более чем в 10% худшего времени, что соответствует 4% среднего года. Следовательно, помехи со стороны земной станции А, создаваемые земной станции В, не должны превышать 0,5% от шума системы В более чем в 4% времени, т. е.:

$$I \leq 10 \log ((0.05)(k T B)) \quad \text{дБВт}, \quad (3)$$

где

$10 \log (k)$: –228,6 дБ(Вт/Гц) на градус Кельвина (постоянная Больцмана);

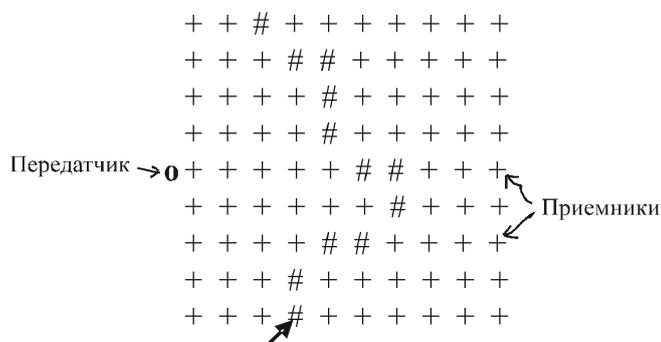
T : шумовая температура системы (> 200 К для большинства линий вверх 14–14,5 ГГц);

B : 1 МГц, как определено выше.

Объединив уравнения (2) и (3), можно сделать вывод, что для полосы, которую должны совместно использовать двунаправленные сети ФСС, потери на трассе распространения помех между земными станциями А и В должны составлять 162 дБ или выше не менее чем в 96% времени.

Если имеется база данных о высотах местности, т. е. база данных, содержащая значения высот суши над уровнем моря в равномерно распределенных по заданной зоне точках, могут быть использованы информация и алгоритмы из Рекомендаций МСЭ-R P.452 и МСЭ-R P.526 для расчета потерь при распространении, превышаемых для любого заданного процента времени над трассой, проходящей по дуге большого круга, между двумя точками данных в пределах этой зоны. Эти Рекомендации охватывают трассы прямой видимости и загоризонтные трассы, включая, в соответствующих случаях, атмосферное поглощение и дифракцию, режимы волноводного распространения и тропосферного рассеяния. Таким образом, если создана программная модель, включающая один передатчик и большое количество равномерно расположенных приемников, возможно вычислить потери, превышаемые в данный процент времени на трассах между передатчиком и всеми до единого приемниками, и, таким образом, определить все трассы, на которых потери близки к заданной величине (см. рис. 2).

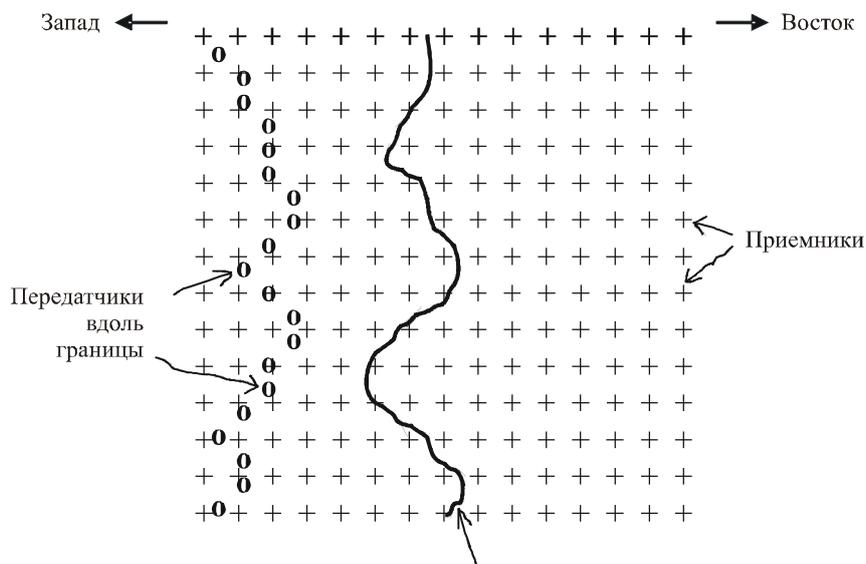
РИСУНОК 2



Приемники, для которых значение потерь, превышаемых в 96% времени, на трассе от передатчика близко к 162 дБ

Добавляя в эту модель дополнительные передатчики, расположенные через небольшие интервалы вдоль заданной линии границы в пределах рассматриваемой географической зоны, и затем выбирая максимальную протяженность трассы L от каждого передатчика, соответствующую рассматриваемым потерям на трассе, может быть построен контур, за пределами которого заданное значение потерь будут превышать для заданного процента времени при передаче, осуществляемой из любого места вдоль границы. Зона между границей и этим контуром будет максимальной зоной, в пределах которой потери на трассе могли бы быть недостаточными для совместного использования частот. Точность контура может быть улучшена при использовании линейной интерполяции между соответствующими парами соседних приемников (см. рис. 3).

РИСУНОК 3



Повсюду к западу от этого контура потери при распространении от всех точек, расположенных вдоль границы, будут превышать, например, 162 дБ более чем в 96% времени

1781-03

Форма контура частично зависит от формы границы и частично от характера местности между контуром и границей.

Из этого анализа ясно, что в данном примере земная станция с антенной размером 1,8 м или больше, осуществляющая передачу с э.и.и.м. до 52 дБ(Вт/МГц) в полосе 12,5–12,75 ГГц, могла бы быть расположена повсюду к западу от границы без превышения критерия единичной помехи, равной 0,5% от шума системы земной станции, работающей на прием на той же частоте повсюду к востоку от контура.

С использованием пакета фирменного программного обеспечения была создана описанная выше модель, в которой для примера была использована граница между Францией и Германией. Примененная база данных о высотах местности имела горизонтальное разрешение около 900 м и вертикальное разрешение около 1 м. Соответственно, был принят интервал в 5 км между соседними приемными земными станциями повсюду в восточной Франции и западной Германии с аналогичным разрешением между соседними передающими земными станциями вдоль границы между двумя странами. Высота антенны над местным уровнем земли для каждой приемной земной станции и каждой передающей земной станции (h_r и h_t на рис. 1) была установлена 5 м.

Результаты представлены на рис. 4, где показаны контуры во Франции и в Германии. Рисунок иллюстрирует два случая, т. е.:

- когда передающие земные станции развернуты во Франции вплоть до международной границы, критерий помех будет соблюдаться на любой земной станции в Германии, расположенной на границе контура G или к востоку от него; и
- когда передающие земные станции развернуты в Германии вплоть до международной границы, критерий помех будет соблюдаться на любой земной станции во Франции, расположенной на границе контура F или к западу от него.

С целью максимального использования распределений линий вверх и линий вниз в данной полосе при предоставлении равного доступа обеим странам было бы технически возможно для Франции использовать всю полосу повсюду к западу от контура F и половину полосы – повсюду между контуром F и границей с Германией, тогда как Германия могла бы использовать всю полосу повсюду к востоку от контура G и другую половину полосы – повсюду между контуром G и границей с Францией. Конечно, такая схема соответствовала бы предварительному соглашению между администрациями двух стран. Размеры зон, в которых применялись бы ограничения в отношении полос, могут быть довольно скромным по сравнению с общей площадью Франции и Германии, соответственно, и в них не учитывается локальное экранирование местностью на обоих концах трасс распространения помех.

Контуры могли бы быть рассчитаны с большей точностью, если бы использовалась база данных о высотах местности с большим разрешением и/или путем уменьшения интервала между соседними земными станциями в компьютерной модели и соответственного увеличения их числа. В большинстве случаев это привело бы к некоторому снижению в зонах "ограничения". Кроме того, в каждом отдельном случае местные снижения в зонах "ограничения" могут быть достигнуты путем экранирования местностью.

2.2 Методика, применимая к примеру ситуации на уровне страны

Очевидно, что в данном случае нецелесообразно использовать границу между двумя странами в качестве границы для целей совместного использования частот в двух направлениях. В рамках любой данной страны необходимо определить границу, в пределах которой земные станции могли бы осуществлять передачу на той же частоте, на которой земные станции за этой границей (но все еще в пределах рассматриваемой страны) принимают сигналы от других спутников. Теоретически с этой целью возможно использовать местные географические границы (например, границы графств в Англии или границы кантонов в Швейцарии), однако такой пример был бы бесполезным, поскольку маловероятно существование корреляции между развертыванием систем VSAT и такими географическими границами. Более подходящей схемой является определение шестиугольной границы, так чтобы на территории страны соседние зоны могли совместно использовать частоты в двух направлениях (аналогично сотовым наземным системам, но с "сотами" больших размеров), как показано на рис. 5.

При такой схеме, если площадь шестиугольника достаточно велика, большая часть зоны A может быть использована для передачи земными станциями (на различные спутники) на той же частоте, на которой земные станции в зонах B, C, D и т. д. осуществляют прием, и наоборот. Как и в примере ситуации на международном уровне, будет существовать неровная полоса земли сразу за границей каждой зоны, в которой передача будет ограничена. Определение точного характера ограничения будет вопросом, относящимся к компетенции заинтересованных операторов и национального органа, выдающего лицензии. В таблице 1 представлена одна из возможностей, при которой предоставляется равный доступ к спектру в ограниченной части каждой шестиугольной зоны.

Контурные для совместного использования частот повсеместно развернутыми земными станциями двух сетей ФСС при противоположных направлениях передачи; международный уровень

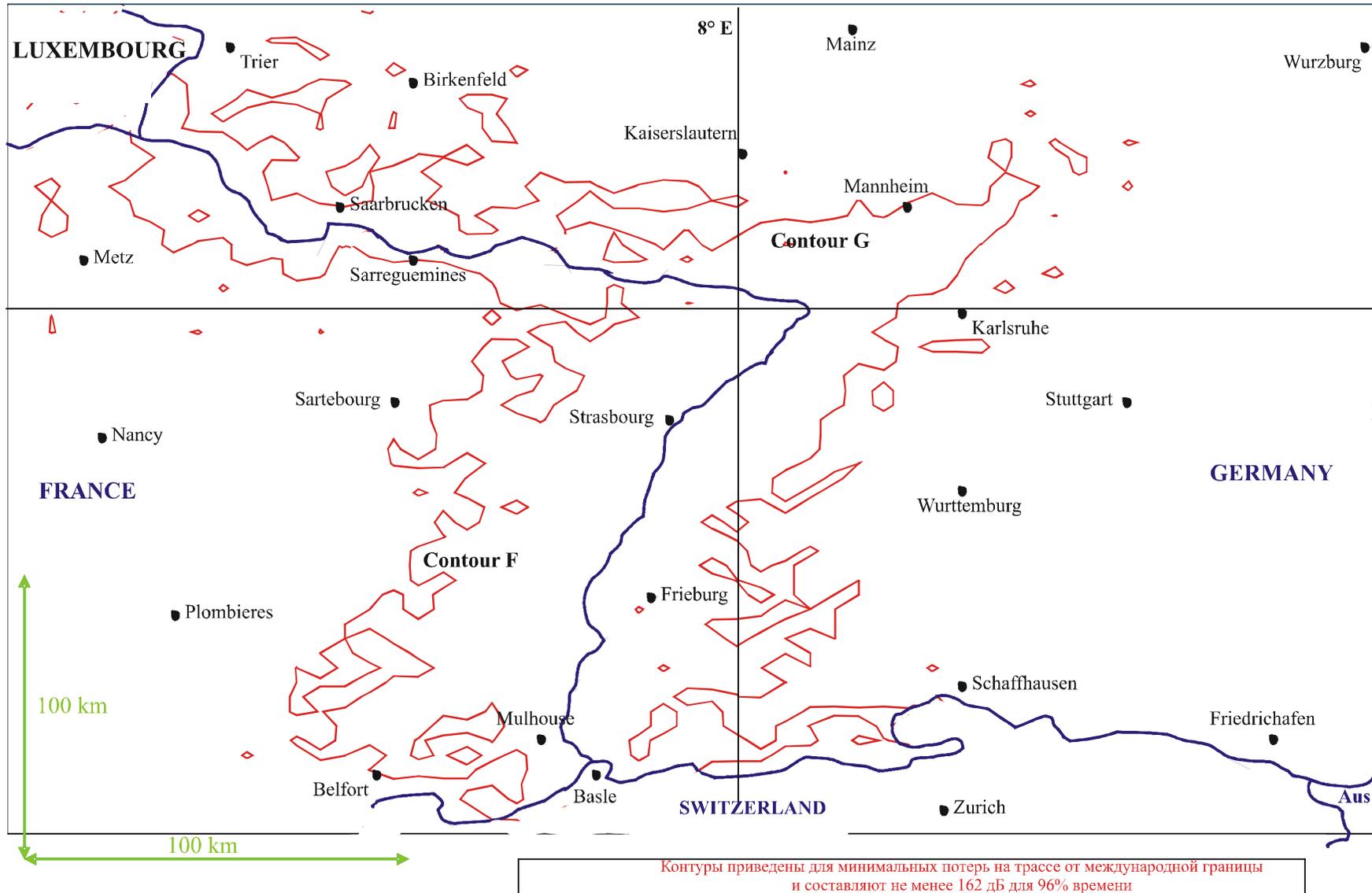
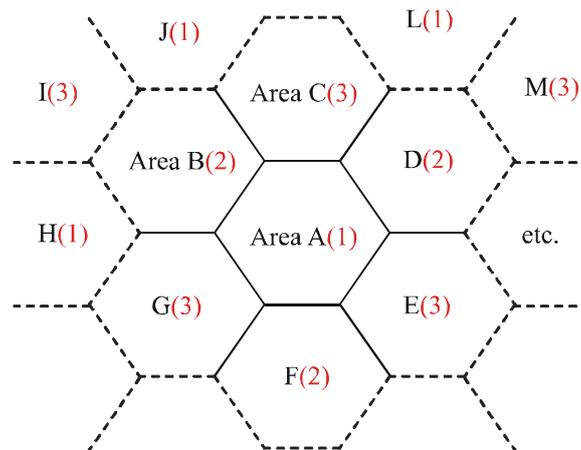


РИСУНОК 5



1781-05

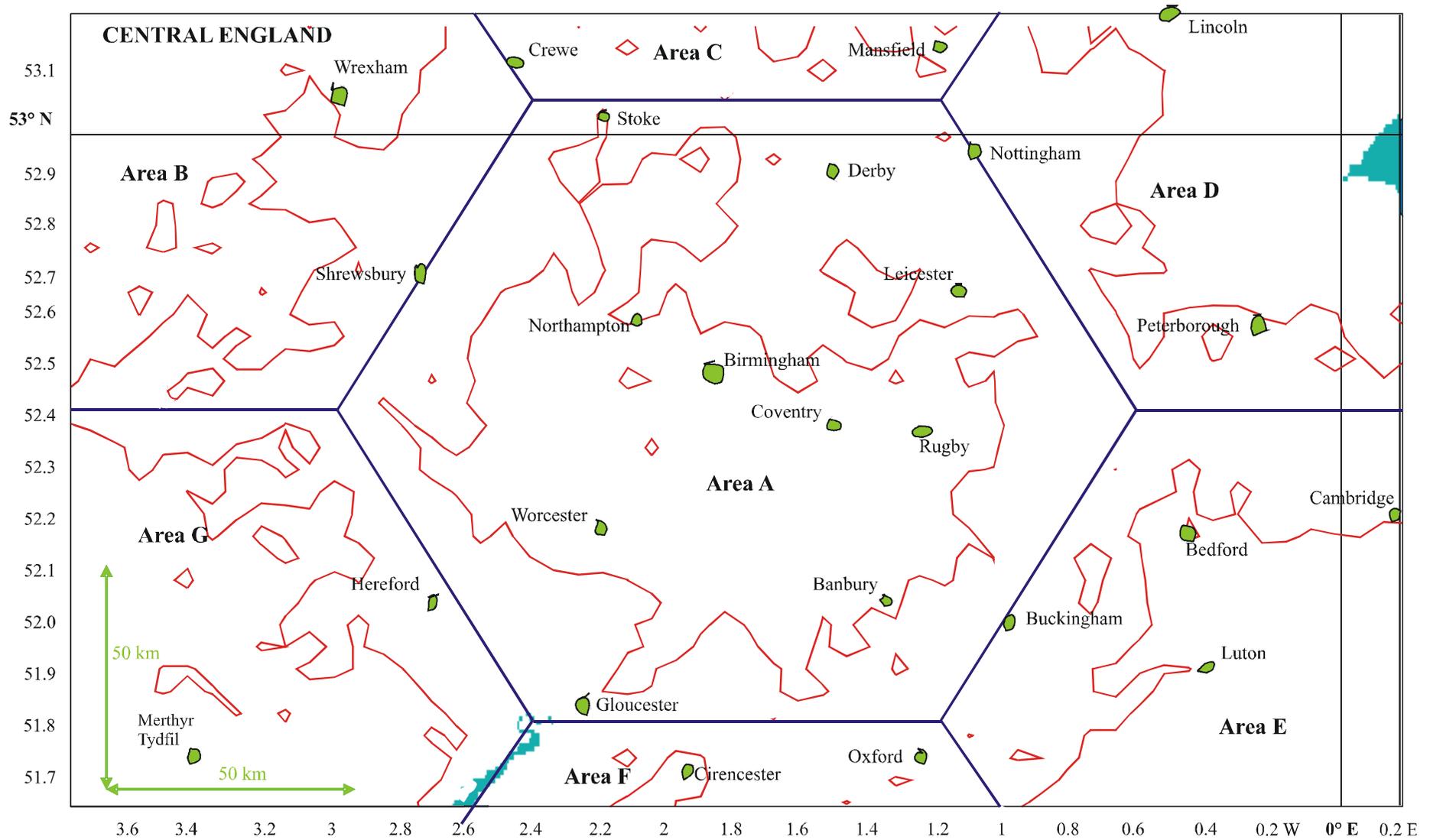
ТАБЛИЦА 1

Возможность равного разделения полосы

<----- 12,5–12,75 ГГц ----->		
f1 = 12,5–12,583 ГГц (1) на рис. 5	f2 = 12,583–12,667 ГГц (2) на рис. 5	f3 = 12,667–12,75 ГГц (3) на рис. 5
Часть зоны А с ограничением передачи на f1	Часть зоны В с ограничением передачи на f2	Часть зоны С с ограничением передачи на f3
Часть зоны Н с ограничением передачи на f1	Часть зоны D с ограничением передачи на f2	Часть зоны Е с ограничением передачи на f3
Часть зоны J с ограничением передачи на f1	Часть зоны F с ограничением передачи на f2	Часть зоны G с ограничением передачи на f3
Часть зоны L с ограничением передачи на f1		Часть зоны I с ограничением передачи на f3
		Часть зоны M с ограничением передачи на f3

Моделирование примера такой схемы было осуществлено с использованием пакета фирменного программного обеспечения, таким образом как описано в п. 3, для шестиугольной зоны в центральной Англии, и результаты представлены на рис. 6. И в этом случае разнос между соседними приемными земными станциями, а также между соседними передающими земными станциями составлял 5 км, а антенны на всех станциях были установлены на высоте 5 м. Передающие земные станции были расположены вокруг центральной шестиугольной границы, а также вдоль каждого из шести отрезков прямых, разделяющих соседние зоны равного размера. Размер "сетки" приемных земных станций был установлен таким, чтобы охватить всю прямоугольную зону, показанную на рис. 6. Это позволяет провести контур, определяющий ограниченную зону в шестиугольной области, обозначенной как "Зона А", а также части соответствующих контуров в соседних зонах В, С, D, Е, F и G, попадающих в моделируемую область.

Контурсы для совместного использования частот повсеместно развернутыми земными станциями двух сетей ФСС при противоположных направлениях передачи; уровень страны



Контурсы приведены для минимальных потерь на трассе от шестиугольной границы и составляют не менее 155 дБ для 96% времени.

Для совместного использования частот внутри страны, особенно в пределах относительной небольшой страны, может быть целесообразным использование несколько менее осторожного критерия помех с тем, чтобы не было зон "ограничения", занимающих чрезмерно большую часть в своих шестиугольных областях. Поэтому для настоящего примера ситуации на уровне страны были пересмотрены предположения, приводящие к уравнениям (2) и (3), и сделаны следующие изменения:

- Во-первых, рассмотрение базы данных, составленной на основе ответов Вопросника 2002 года по станциям VSAT, работающим в полосе 14–14,5 ГГц и имеющим антенны диаметром 1,5–2,1 м, показало, что хотя 98% земных станций осуществляют передачу на уровне не более 52 дБВт (на полосе шириной 1 МГц), этот процент начинает существенно падать только для уровней э.и.и.м. ниже 49 дБВт. В действительности, 97% земных станций осуществляют передачу на уровнях э.и.и.м., не превышающих 50 дБВт.
- Во-вторых, поскольку в этом случае совместное использование частот будет находиться в компетенции одной администрации, вероятно будет осуществляться больший контроль за средой помех, чем в примере ситуации на международном уровне. Кроме того, по сравнению с ситуацией на международном уровне, менее вероятно, что число земных станций, находящихся в пределах расстояния "помех" от данной земной станции и осуществляющих передачу на частоте приема этой земной станции, достигнет десяти. Следовательно, для данного примера считается обоснованным допустимый уровень единичной помехи в размере 1% от бюджета шума системы (а не 0,5% как в п. 2).
- В-третьих, из рис. 11 можно вывести, что примерно для 92% трасс распространения помех внеосевые углы на передающей или приемной земной станции будут больше, чем примерно 30° (а не 25°, как предполагалось в п. 2). При внеосевом угле 30° усиление в боковых лепестках антенны будет составлять –5 дБи. Следовательно, усиление будет меньше –5 дБи примерно для 92% трасс распространения помех, а в этом примере мы будем предполагать $G(\varphi_r) = -5$ дБи и $G(\varphi_r) = -10$ дБи.

С учетом этих трех факторов в уравнениях (2) и (3) потери на трассе, которые используются в целях установления контуров и которые должны превышать не менее чем в 96% времени, становятся равными 155 дБ.

Рисунок 6 наводит на мысль о том, что, как и в примере ситуации на международном уровне, совместное использование ФСС полосы 12,5–12,75 ГГц в двух направлениях было бы осуществимо в ситуации на уровне страны для земных станций, расположенных на большей части территории данной страны. Например, в пределах зоны А на рис. 6 не было бы ограничений на использование полосы передающими земными станциями внутри контура, включающего более 50% этой зоны, и есть основания считать, что, вероятно, это также будет иметь место в зонах В, С, D, E и H. Применение базы данных о высотах местности с более высоким разрешением, чем использованное здесь, и учет местных "помех" (т. е. зданий, деревьев и пр.) во многих случаях привели бы к "смещению" контура в направлении границы зоны. Для содействия совместному использованию частот в области между контуром и шестиугольной границей потребовались бы дополнительные меры, например ограничение передачи в одной трети полосы в каждой шестиугольной области, как было пояснено выше.

Дополнение 1 к Приложению 1

Изменение внеосевого угла в направлении трассы распространения помех

Угол места земной станции, работающей на спутник, находящийся на геостационарной орбите, может быть определен следующим выражением:

$$E_s = \arctan\left(\frac{\cos(\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos(\lambda_E) - 0,1513}{1 - \cos^2(\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos^2(\lambda_E)}\right)^{1/2}, \quad (4)$$

где

E_S : угол места антенны земной станции;

α_E : долгота земной станции;

α_S : долгота спутника;

λ_E : широта земной станции.

Азимут земной станции в направлении спутника может быть определен следующим выражением:

$$A_S = 180 + \arctan(\tan(\alpha_E - \alpha_S)/\sin(\lambda_E)), \quad (5)$$

где A_S – угол азимута, измеренный в градусах от истинного севера в направлении космической станции, на которую работает земная станция.

Внеосевой угол земной станции, работающей в соответствии со значениями E_S и A_S , определенными выше, к любой другой земной станции, в направлении которой азимут, также измеренный в градусах от истинного севера, составляет A_E , может быть определен с помощью следующего выражения в предположении, что угол места горизонта равен нулю градусов¹:

$$\alpha = \arccos(\cos(E_S)\cos(A_E - A_S)), \quad (6)$$

где

ϕ : внеосевой угол антенны земной станции в направлении другой земной станции;

A_E : угол азимута, измеренный в градусах от истинного севера, в направлении другой земной станции.

В примере ситуации на международном уровне, приведенном в основном тексте настоящей Рекомендации, средняя широта составляет около 49° с. ш., а на рис. 7–10 уравнения (4)–(6) были использованы для графического представления ϕ (при $\lambda_E = 49^\circ$) как функции A_E для четырех значений разности долгот между земной станцией и геостационарного спутника, на который она работает ($\alpha_E - \alpha_S$). Из рис. 7 следует, что, как можно было бы ожидать, когда земная станция и ее спутник находятся на той же долготе, изменение внеосевого угла симметрично для пеленгов по азимуту к востоку и к западу. Аналогично на рис. 8, 9 и 10 показаны ассиметричные изменения к востоку и к западу, при этом минимальное значение ϕ имеет место, когда A_E соответствует азимуту передающей земной станции. Если рис. 8, 9 и 10 были бы пересчитаны для соответствующих случаев, когда спутник находится к западу от земной станции, то были бы получены зеркальные изображения (около $A_E = 0^\circ$) трех графиков.

В свою очередь, как можно ожидать, минимальное значение ϕ в каждом случае равно углу места спутника, "видимого" с земной станции. Это можно проверить с помощью оценочного уравнения (4), а результат сравнить с минимальными точками на кривых на рис. 7–10.

$\alpha_E - \alpha_S$ (градусы)	0	20	40	60
E_S (градусы)	33,78	30,58	22,11	10,60

Поскольку большинство сетей ГСО ФСС, действующих в полосе 14–14,5 ГГц, не эксплуатируются при углах места ниже примерно 10° , можно считать, что рис. 7–10 охватывают весь диапазон внеосевых углов в отношении помех между земными станциями, использующими противоположные направления передачи.

¹ Результаты, приведенные в настоящем Дополнении, будут немного другими, если предположить, что угол места горизонта не равен нулю, однако разница будет небольшой, поскольку местоположения земной станции, для которых угол места горизонта превышает 2° или 3° , являются редкими.

Поскольку земные станции могут быть расположены где угодно, трасса распространения помех между земной станцией, использующей распределение (Земля-космос) ФСС 12,5–12,75 ГГц, и земной станцией, использующей распределение (космос-Земля) 12,5–12,75 ГГц, может проходить в любом направлении на поверхности Земли. Таким образом, все пеленги по азимуту (A_E) на любой передающей или приемной земной станции в этой полосе могут считаться равновероятными. Аналогично, в целях настоящей задачи, все (возможные) углы различия долгот земной станции и спутника ($\alpha_E - \alpha_S$) считаются равновероятными; (на практике небольшие различия долготы встречаются чаще, чем большие, однако настоящее предположение упрощает анализ и страдает излишней осторожностью, т. е. результаты являются слегка пессимистичными). Поэтому представив результаты в форме, показанной на рис. 7, 8, 9 и 10, для значений $\alpha_E - \alpha_S$ на интервалах 10° в пределах от 0° до 60° , можно вывести интегральную функцию распределения (ИФР) внеосевых углов распространения помех, охватывающую все географические условия, на основе предположений о равновероятности и средней широты 49° . Такая ИФР представлена на рис. 11 верхней кривой.

Для удобства на рис. 11 была добавлена диаграмма внеосевого усиления (нижняя кривая) для антенны диаметром 1,8 м на частоте 12,625 ГГц (включенная в пример в основном тексте настоящей Рекомендации) путем размещения вертикальной оси справа с соответствующим масштабом. Эта диаграмма внеосевого усиления антенны была рассчитана с использованием Рекомендации МСЭ-R S.580. Таким образом, можно увидеть, что, например, внеосевой угол 25° превышает по меньшей мере для 96% трасс распространения помех и что усиление антенны не превышает -3 дБи для всех внеосевых углов больших 25° . Поскольку максимальное (т. е. в направлении главной оси) усиление такой антенны составляет не менее 45,7 дБи (предполагая к.п.д. 65%), из этого следует, что избирательность антенны на каждом конце трассы распространения помех составляет не менее 48,7 дБ в 96% таких случаев. Кроме того, вероятность того, что усиление антенны в направлении трассы распространения помех близко к -3 дБи для антенн обеих земных станций, будет весьма малой (около $(0,04)^2$ или 0,16%), поэтому в целях основного текста достаточно осторожным является предположение о том, что внеосевое усиление составляет -3 дБи на одном конце трассы распространения помех и -10 дБи – на другом конце.

РИСУНОК 7

**Внеосевой угол прихода помех в зависимости от пеленга по азимуту от истинного севера
для земной станции на 49° с. ш.
Спутник на той же долготе, что и земная станция**

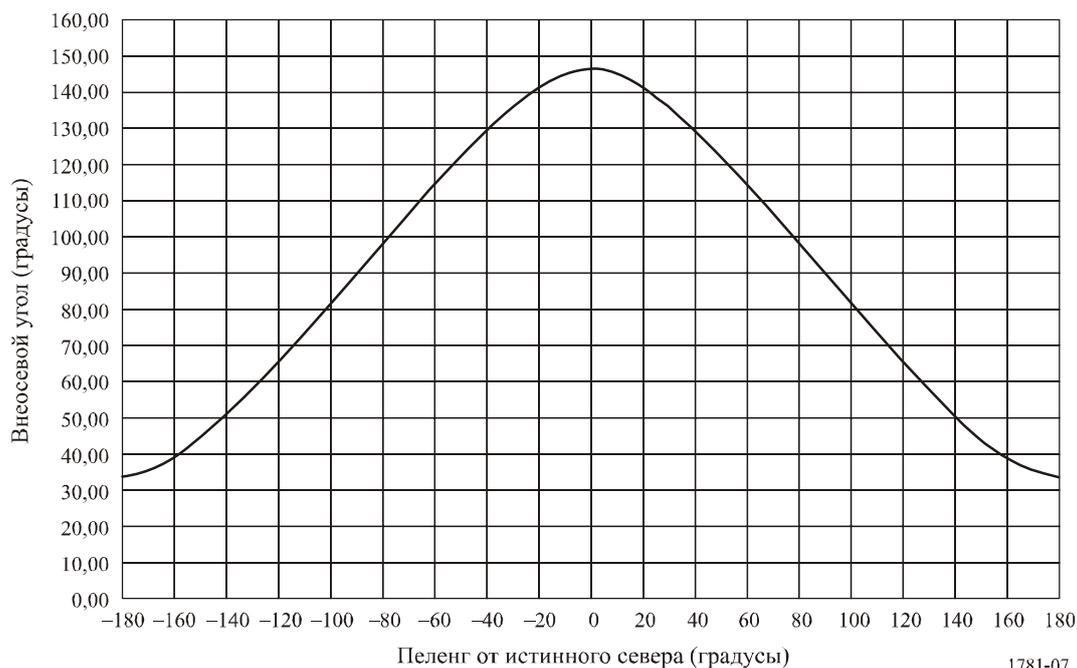


РИСУНОК 8

**Внеосевой угол прихода помех в зависимости от пеленга по азимуту от истинного севера
для земной станции на 49° с. ш.
Спутник в 20° в. д. от земной станции**

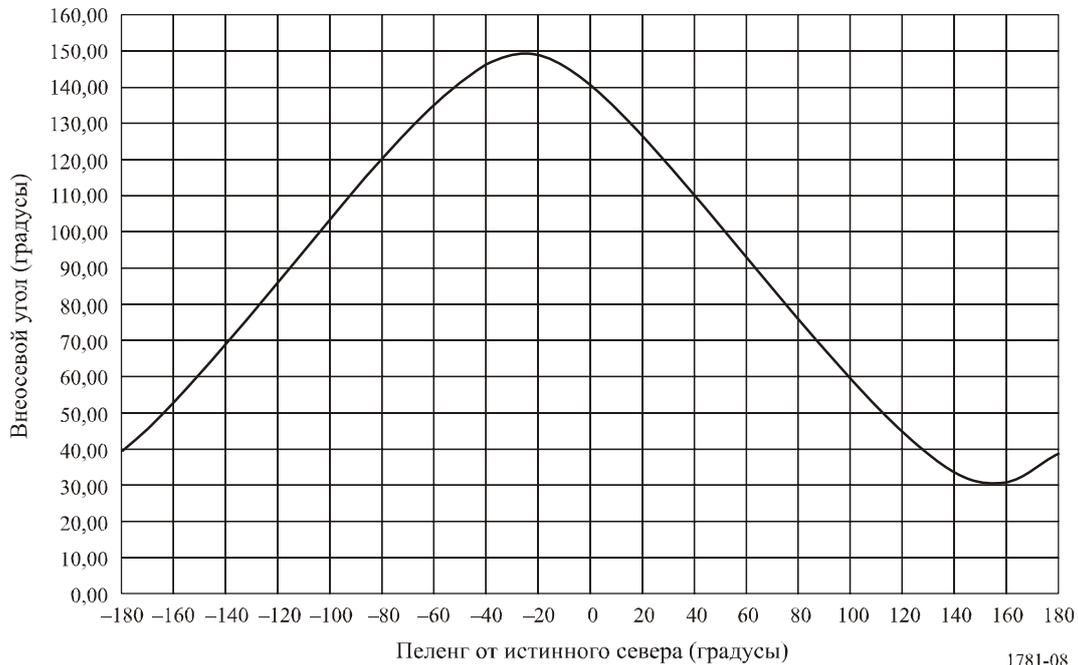


РИСУНОК 9

**Внеосевой угол прихода помех в зависимости от пеленга по азимуту от истинного севера
для земной станции на 49° с. ш.
Спутник в 40° в. д. от земной станции**

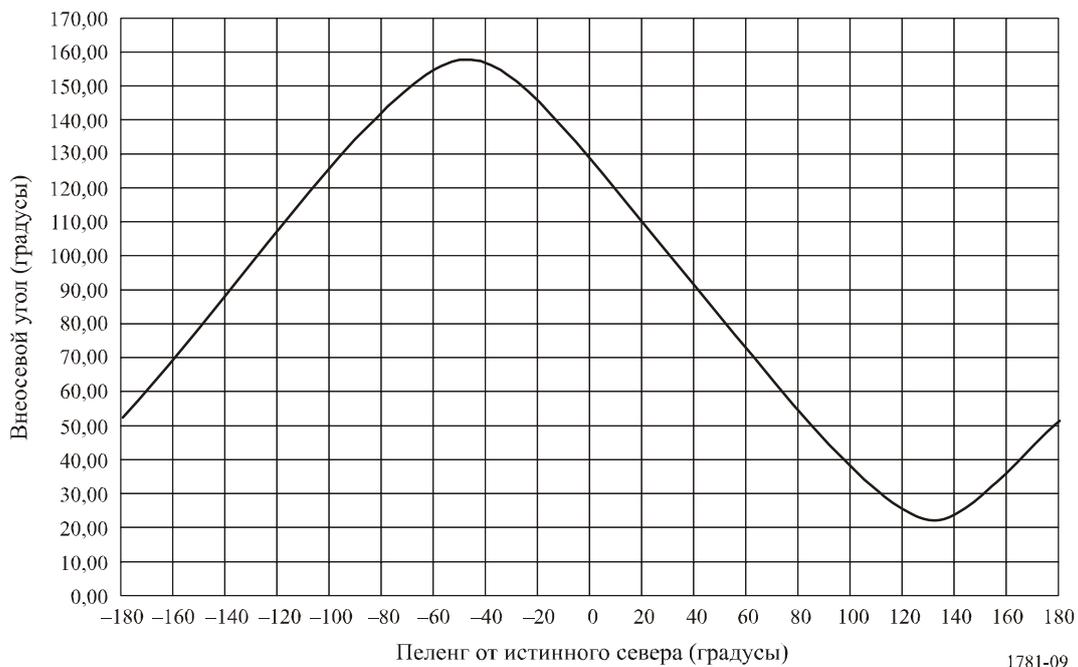
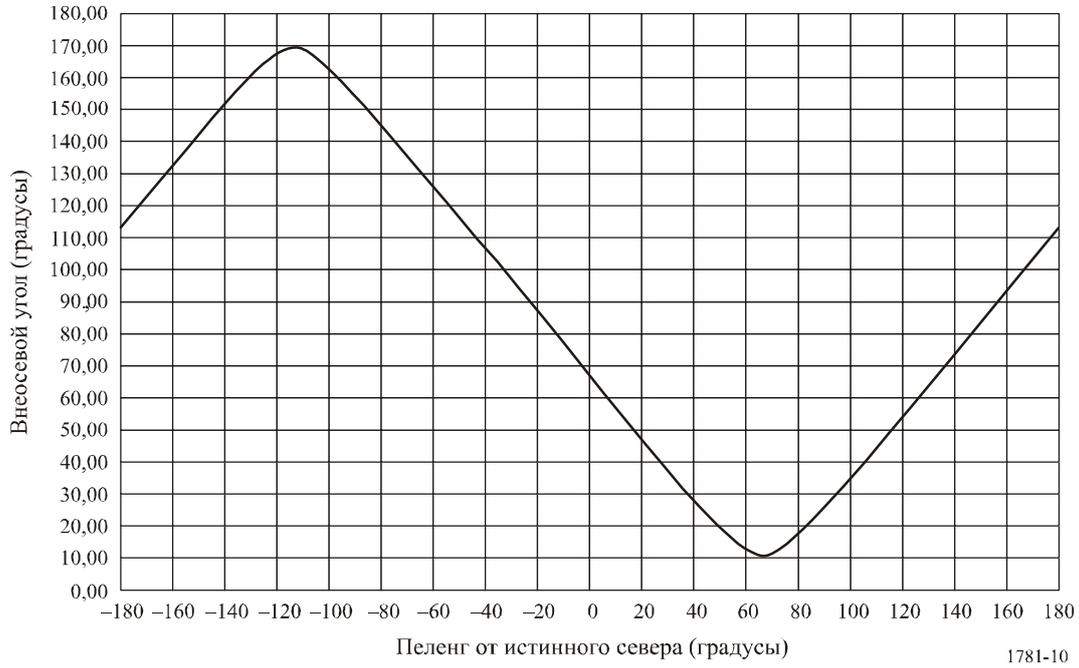


РИСУНОК 10

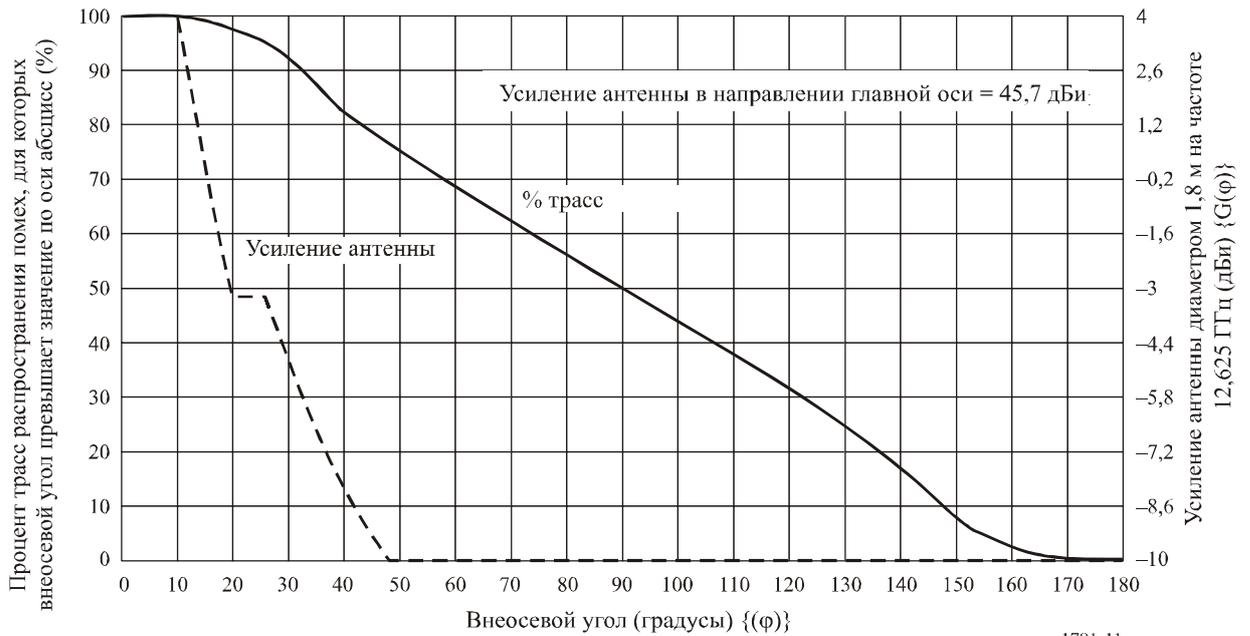
**Внеосевой угол прихода помех в зависимости от пеленга по азимуту от истинного севера
для земной станции на 49° с. ш.
Спутник в 60° в. д. от земной станции**



1781-10

РИСУНОК 11

**Интегральная функция распределения внеосевых углов для помех между земными станциями,
работающими в противоположных направлениях передачи, в сравнении с диаграммами
внеосевого усиления по Рекомендации МСЭ-R S.580**



1781-11