

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SF.1649-1

Руководство по определению помех от земных станций на борту судов (ESV) станциям фиксированной службы, когда станция ESV находится в пределах минимального расстояния*

(Вопросы МСЭ-R 226/9 и МСЭ-R 254/4)

(2003-2008)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации предоставляется руководство для администраций по определению возможных помех со стороны земных станций на борту судов (ESV) станциям фиксированной службы. В Приложении 1 содержится общее рассмотрение в отношении этого определения. В Приложении 2 приводится описание простейшего подхода к такому определению. В Приложении 3 изложены различные альтернативные подходы, основанные на моделях. В Приложении 4 содержится материал, который может быть принят во внимание при проведении двухсторонних или многосторонних обсуждений в случае, когда администрации санкционируют использование антенн размером менее 1,2 м в полосе 14,0–14,5 ГГц, для обеспечения того, чтобы эти антенны меньшего размера соответствовали требованиям Резолюции 902 (ВКР-03).

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что суда могут быть оборудованы для эксплуатации станций ESV ФСС, которые осуществляют передачу в сетях ФСС в полосе 5925–6425 МГц (Земля-космос) согласно п. 4.4 Регламента радиосвязи (РР);
- b) что суда могут быть оборудованы для эксплуатации в качестве станций ESV в полосе 14–14,5 ГГц согласно п. 4.4 РР или в качестве вторичной службы в ПСС;
- c) что некоторые из полос, упомянутых в пунктах a) и b) раздела *учитывая* совместно используются на равной первичной основе с фиксированной службой (ФС);
- d) что если станциям ESV было разрешено функционировать в морских коридорах и прибрежных фарватерах, то для этой работы было бы необходимо определить смешанные зоны;
- e) что в Рекомендации МСЭ-R SF.1585 приводится способ определения такой зоны;
- f) что необходимо рассмотреть станции ФС, находящиеся в такой зоне, для определения того, будут ли они испытывать воздействие помех, уровень которых превышает допустимый уровень;
- g) что многие цифровые системы ФС работают с автоматическим регулированием мощности передачи (АРМП);
- h) что возникновения помех длительностью более нескольких секунд могут привести к существенным длительным выходам из строя цифровых систем ФС;
- j) что Рекомендации МСЭ-R SF.1006 и/или МСЭ-R SM.1448 предоставляют методы, которые могли бы быть использованы для определения возможных помех между станциями ФСС и станциями ФС в случае, когда станции ESV являются стационарными (см. Примечание 1);

* Определение "минимального расстояния" см. в Рекомендации МСЭ-R SF.1650-1.

к) что методика определения уровня помех со стороны станций ESV станциям ФС является вопросом соглашения между заинтересованными администрациями;

л) что руководство для администраций по подробному определению этих уровней для проведения предварительного анализа может, тем не менее, быть ценным при обстоятельной оценке помех;

м) что в Рекомендациях МСЭ-R F.696 и МСЭ-R F.1565 определены критерии допустимых помех для станций в ФС;

п) что различные методы и критерии, касающиеся помех, необходимы для определения возможных помех со стороны станций ESV, если они не являются фиксированными,

признавая,

а) что Всемирная конференция радиосвязи (Стамбул, 2000 г.) (ВКР-2000) призвала МСЭ-R срочно завершить исследования, касающиеся земных станций на борту судов (ESV), в частности в отношении исключения возможности создания недопустимых помех станциям других служб любых администраций;

б) что в п. 5.457А РР указано, что в полосах 5925–6425 МГц и 14–14,5 ГГц земные станции на борту судов могут поддерживать связь с космическими станциями фиксированной спутниковой службы, до тех пор пока такое использование соответствует Резолюции 902 (ВКР-03);

с) что в п. 5.457В РР указано, что в Алжире, Саудовской Аравии, Бахрейне, Коморских Островах, Джибути, Египте, Объединенных Арабских Эмиратах, Ливийской Арабской Джамахирии, Иордании, Кувейте, Марокко, Мавритании, Омане, Катаре, Сирийской Арабской Республике, Судане, Тунисе и Йемене в полосах 5925–6425 МГц и 14–14,5 ГГц земные станции на борту судов могут работать с характеристиками и при условиях, которые указаны в Резолюции 902 (ВКР-03), в морской подвижной спутниковой службе на вторичной основе,

отмечая,

а) что при определении возможных помех в отношении работы ESV применяются технические ограничения, приведенные в Приложении 2 к Резолюции 902 (ВКР-03), в частности внеосевые ограничения;

б) что в Рекомендации 37 (ВКР-03) (Эксплуатационные процедуры для использования земных станций на борту судов) описаны процедуры, касающиеся работы станций ESV,

рекомендует,

1 чтобы руководство, приведенное в Приложении 1, по возможности, использовалось в качестве основы для общей оценки помех со стороны станций ESV, работающих в пределах "минимального расстояния" от станций ФС;

2 чтобы руководство, приведенное в Приложении 2, по возможности, использовалось в качестве базы для расчета помех со стороны станций ESV (см. Примечание 2 и Примечание 3);

3 чтобы результаты применения метода, приведенного в Приложении 2, по возможности, использовалось для того, чтобы определить, можно ли рассматривать участки полос частот, указанные в пункте б) раздела *признавая*, для использования станциями ESV при работе в пределах "минимального расстояния" (см. Примечание 3);

4 чтобы администрации, по возможности, учитывали технический материал, приведенный в Приложении 4, при проведении ими двухсторонних и многосторонних обсуждений в случае санкционирования работы станций ESV с антеннами меньшими 1,2 м в полосе 14,0–14,5 ГГц для обеспечения соответствия этих антенн меньшего размера требованиям Резолюции 902 (ВКР-03).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В методах, приведенных в настоящей Рекомендации, используются критерии защиты от помех ФС. Такие критерии содержатся, например, в Рекомендации МСЭ-R SF.1006, однако критерии кратковременных помех могут быть совместимы только с Рекомендацией МСЭ-T G.821. С другой стороны, в Рекомендации МСЭ-R SF.1650 приведены критерии защиты ФС от кратковременных помех для современных линий, разработанных для соответствия требованиям Рекомендаций МСЭ-T G.826 и МСЭ-T G.828.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – При определении частот для станций ESV может потребоваться рассмотреть использование методов ослабления помех. Например, в случае, когда планы размещения частот основаны на Рекомендации МСЭ-R F.383, использование центрального диапазона ФС 6 ГГц (близкого к 6,175 ГГц) передатчиками ESV может значительно уменьшить потенциальные помехи приемникам ФС, поскольку если рассматривать помехи любому радиостволу ФС, то фильтрация в приемнике была бы полезной.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Метод, описанный в Приложении 2, может быть дополнен использованием метода, приведенного в Приложении 3.

Приложение 1

Руководство по определению и использованию рабочего контура* для определения помех со стороны излучений от движущейся станции ESV станции фиксированной службы (метод критических точек контура)

Следующий метод может использоваться в качестве основы для общей оценки помех со стороны станций ESV, работающих в пределах минимального расстояния от станций ФС.

1 Введение

В Рекомендации МСЭ-R SF.1006 изложен метод оценки потенциальных помех между станцией ФСС и станцией ФС, в котором предполагается наличие фиксированной пространственной связи между станциями ФСС и ФС. При перемещении станций ESV в порт или гавань, док или место якорной стоянки их связь со станциями ФС изменяется в процессе движения.

В Рекомендации МСЭ-R SF.1585 описан метод использования рабочего контура судов, оборудованных ESV, для установления зоны, которая может быть использована в целях определения станций ФС, которые могли бы испытывать действие недопустимых помех со стороны ESV, следующей по этому контуру. В соответствии с существующими процедурами необходимо было бы оценить возможные помехи, как если бы они были стационарными в каждой возможной точке на пути судна во всех случаях, когда оно находится в этой зоне.

В настоящем Приложении содержится методика, называемая методом критических точек контура, который упрощает определение потенциальных помех, создаваемых станциям ФС, путем учета небольшого набора точек на рабочем контуре. Эти точки называются критическими точками контура (КТК). Некоторые из этих точек являются характерными для рабочего контура, тогда как другие точки характерны для конкретной станции ФС.

* Рабочий контур определен в Рекомендации МСЭ-R SF.1585.

2 Рассмотрение вопросов, касающихся определения КТК

2.1 Работа в стационарном состоянии

В случае работы станции ESV в стационарном состоянии потенциальные помехи можно оценить с использованием Рекомендации МСЭ-R SF.1006 или SM.1448 или с помощью любых процедур, согласованных задействованными администрациями, поскольку они будут применимы к любой новой станции ФСС.

2.2 Работа в движении

Каждую станцию ФС в той или иной зоне (например, описанной в Рекомендации МСЭ-R SF.1585) следует рассмотреть для определения того, будет ли она испытывать помехи, уровень которых превышает допустимый уровень помех. Обычно это потребовало бы проведения оценки возможных помех в отношении каждой станции ФС в каждой точке на пути следования судна, оборудованного ESV, которое движется внутри рабочего контура. Однако методика на основе КТК предоставляет метод, позволяющий снизить вычислительные требования путем определения небольшого количества точек для каждого приемника ФС, находящегося внутри определенной зоны.

2.2.1 Определение КТК для каждого потенциально затронутого приемника

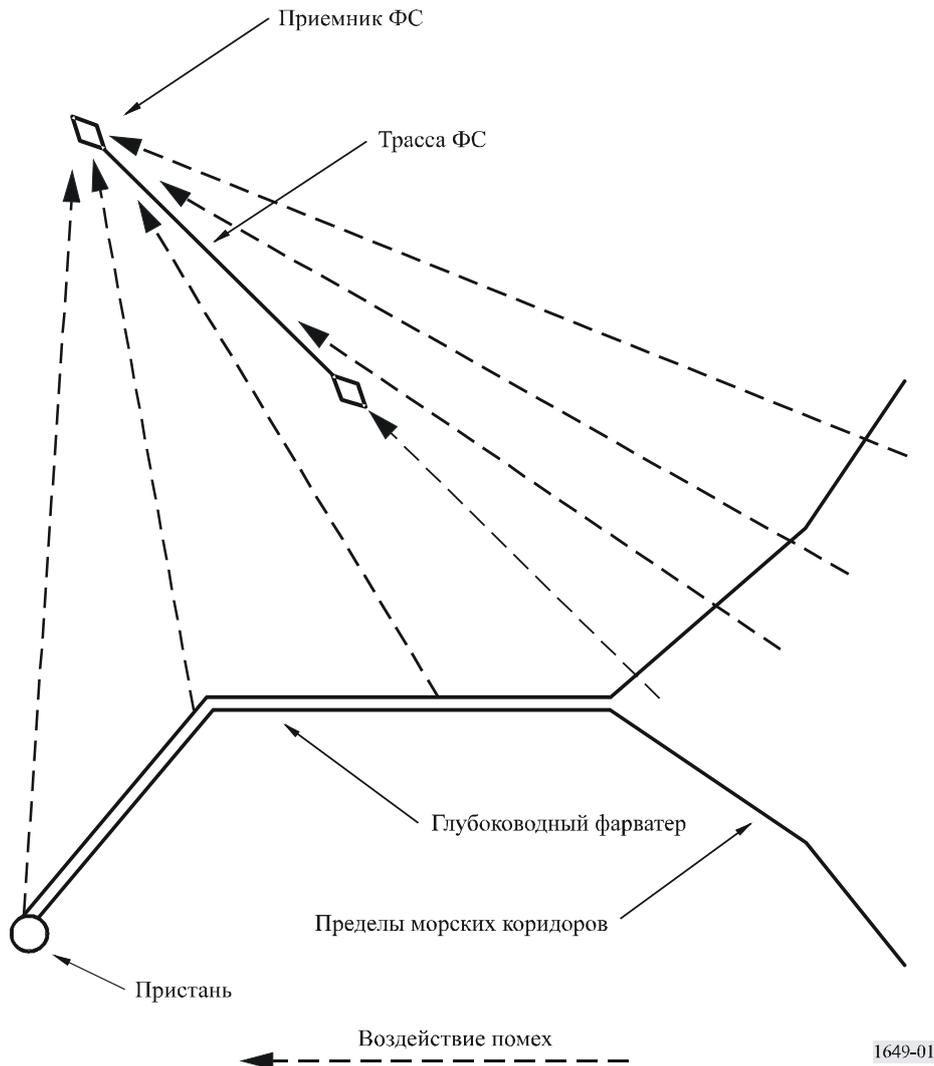
При любом воздействии помех на конкретный приемник ФС со стороны терминала ESV, расположенного на движущемся судне, в расчетах присутствуют три переменные, относящиеся к положению:

- потери при распространении, превышаемые всегда, за исключением того или иного процента времени. Эти потери зависят от протяженности трассы распространения помех, радиоклиматических зон и могут учитывать явления любого затенения, которое, возможно, существует на трассе распространения помех;
- усиление антенны приемника ФС; и
- усиление антенны ESV в направлении горизонта.

Эти три фактора могут быть легко установлены для каждой точки внутри рабочего контура, определяемого глубоководным фарватером (см. рис. 1).

РИСУНОК 1

Базовая геометрия помех



В целях оценки потенциальных помех рабочий контур аппроксимируется набором отрезков прямых. Определение КТК зависит от положения и корректировки трассы ФС по отношению к рабочему контуру, и следует различать несколько случаев. В тех случаях, когда азимут оси главного луча антенны ФС не пересекается с какой-либо частью рабочей зоны ESV, критическими точками контура являются точки вдоль рабочего контура в местах, где контур изменяет направление или достигает предела прибрежной зоны, за которым координация не требуется. В тех случаях, когда азимут оси главного луча антенны ФС пересекает рабочий контур, необходимо увеличить и/или изменить количество КТК. В любом случае, для рассмотрения долговременных и кратковременных помех любой рассматриваемой станции ФС должны использоваться те же КТК. Помехи, создаваемые работой движущейся ESV любому приемнику ФС в зоне, где необходимо определить потенциальные помехи, оцениваются путем рассмотрения работы в каждой КТК для каждого приемника с использованием моделей потерь при распространении, таких как приведены в Рекомендации МСЭ-R Р.452. Целью этой оценки является определение частот, которые могут быть использованы для работы движущейся ESV без создания помех неприемлемых уровней станциям ФС.

При определении КТК в отношении конкретного приемника ФС необходимо различать следующие три случая:

Случай 1: В данном случае ось главного луча приемной антенны ФС не пересекается ни с какой частью рабочего контура. Требуемыми в этом случае КТК являются только точки, в которых рабочий контур ESV изменяет направление.

Случай 2: В этом случае главный луч антенны ФС (в пределах уровня 10 дБ по отношению к максимальному усилению антенны) полностью находится на одном отрезке рабочего контура. Точки на рабочем контуре, в которых усиление антенны на 10 дБ ниже максимального значения, определяют две дополнительные КТК. Отрезок рабочего контура между этими двумя КТК содержит естественную точку пересечения (ЕТП) – точку, в которой ось главного луча антенны ФС пересекает рабочий контур. Точка ЕТП всегда берется в качестве КТК.

Случай 3: В этом случае ЕТП находится достаточно близко к одной из точек, в которой рабочий контур изменяет направление, чтобы главный луч антенны ФС прошел через несколько отрезков рабочего контура. Такой случай вероятнее всего возникает, когда ЕТП находится вблизи одной из точек, где рабочий контур ESV изменяет направление. Пересечение рабочего контура с точками 10 дБ антенны определяет две дополнительные КТК как в Случае 2; однако в данном случае нет необходимости рассматривать первоначальную точку в главном луче в качестве КТК.

Дополнительная возможность: Если существует точка на рабочем контуре ESV, в которой максимальное усиление в направлении горизонта антенны ESV ориентировано в сторону приемника ФС, то эта точка на контуре может быть определена в качестве дополнительной КТК в отношении данного приемника независимо от того, какой из трех случаев применяется.

2.2.2 Рассмотрение долговременных помех

Долговременные помехи определяются совокупностью мощности помех со стороны каждого отрезка рабочего контура от пристани до предела рабочего контура, за которым координация не требуется, т. е. суммированием вкладов в результате работы между каждыми последовательными точками КТК в отношении той или иной приемной станции ФС*. В процедуре, как показано в Приложении 2, используется принцип частичного ухудшения качества (FDP) из Рекомендации МСЭ-R F.1108. Единственное различие состоит в том, что необходимыми для расчета потерями при распространении являются потери при распространении со стороны каждой КТК, которые превышаются всегда, кроме 20% времени. Вклад каждого отрезка в FDP можно рассчитать в аналитической форме исходя из средней мощности принимаемых помех, создаваемых при работе ESV, включая влияние продолжительности времени нахождения на отрезке при многочисленных проходах станций ESV. В случае отрезка, не содержащего ЕТП, это среднее значение вычисляется исходя из предположения, что изменение суммы усиления (дБ) антенн ФС и ESV на отрезке является линейным. Среднее значение по отрезку, содержащему ЕТП, определяется на основе главного луча гауссовской формы антенны ФС, как в Рекомендации МСЭ-R F.1245.

Критерием, применяемым к этим помехам, является уровень мощности для долговременных помех, взятый из Рекомендации МСЭ-R SF.1006 или МСЭ-R F.758.

2.2.3 Рассмотрение кратковременных помех

Допустимость кратковременных помех может быть определена путем рассмотрения того, превышает ли мощность помех, создаваемых в результате работы вблизи любой КТК, значение, указанное в критерии кратковременных помех, в течение процента времени, большего, чем допустимый процент p_{ST} . С этой целью может быть применен критерий кратковременных помех, использованный в Рекомендации МСЭ-R SF.1650 для диапазонов 6 и 14 ГГц.

Определение мощности кратковременных помех, создаваемых в результате работы ESV вблизи КТК, зависит от потерь при распространении на трассе от КТК. В частности, оно зависит от потерь при распространении, превышаемых всегда, кроме небольшого процента времени p_{ESVi} , связанного с работой ESV вблизи КТК. Этот подход, подробно описанный в Приложении 2, аналогичен подходу, использованному в Рекомендации МСЭ-R SF.1485 или в п. 2.2.2 Приложения 1 к Рекомендации МСЭ-R SM.1448. Этот процент времени, связанный с работой ESV вблизи КТК, зависит от применяемой ситуации из тех ситуаций, которые могут возникнуть в соответствии с тремя случаями, описанными выше в п. 2.2.1.

* Рабочий контур определен в Рекомендации МСЭ-R SF.1585.

В случаях, когда ось главного луча антенны ФС проходит через естественную точку пересечения на рабочем контуре ESV, процент времени p_{ESVi} , соответствующий работе ESV вблизи ЕТП, непосредственно связан с временем, затрачиваемым ESV на движение по рабочему контуру между двумя точками 10 дБ антенны ФС.

Кроме соседних с ЕТП точек КТК, которые рассматриваются как конечные точки рабочего контура, процент времени p_{ESVi} зависит от времени, которое затрачивает ESV на движение от средней точки предыдущего отрезка рабочего контура до средней точки следующего отрезка контура. В случае, когда КТК является конечной точкой рабочего контура, один из этих отрезков не существует и его вклад считается нулевым.

Существует также возможность возникновения более сложных ситуаций, однако их можно рассматривать с использованием подхода, аналогичного предлагаемому в настоящем документе.

3 Применение методики КТК при определении имеющегося спектра

Спектр, предоставляемый для использования станциями ESV, установленными на судах, которые следуют по курсу или находятся вблизи портов, может быть определен с использованием методики КТК для оценки того, приведет ли использование конкретной частоты к превышению допустимого уровня помех между ESV и станциями ФС.

После определения точек КТК в отношении той или иной приемной станции ФС Приложение 2 может использоваться для определения того, являются ли приемлемыми уровни долговременных и кратковременных помех. Те диапазоны частот, для которых можно показать, что работа ESV не создаст неприемлемых помех какому-либо приемнику ФС, могут быть затем присвоены для использования станциями ESV, заходящими в конкретный порт.

Приложение 2

Расчет помех со стороны ESV

1 Введение

Положения Резолюции 82 (ВКР-2000) касаются работы ESV в полосах частот 3700–4200 МГц и 5925–6425 МГц. Рабочая группа 4-9S разработала три новые Рекомендации, в двух из которых требуется учитывать только критерии кратковременных помех. Это Рекомендация МСЭ-R SF.1650, где рассматривается прибрежная зона, за которой нет необходимости учитывать помехи фиксированной службе, и Рекомендация МСЭ-R SF.1585, где рассматривается определение зоны, в которой возможные помехи со стороны ESV необходимо учитывать в случаях, когда предусматривается возможность работы в пределах прибрежной зоны. В настоящей (третьей) Рекомендации рассматривается определение возможных помех от ESV при работе в прибрежной зоне.

В Приложении 1 рассматривается установление точек для определения потенциальных помех со стороны ESV. После их установления необходимо рассмотреть помехи станциям, находящимся за радиогоризонтом, а также помехи станциям, которые находятся на расстоянии прямой видимости от рабочих положений той или иной движущейся ESV. В случае фиксированных передающих земных станций помехи приемникам ФС, находящимся за горизонтом, ограничиваются путем применения критериев кратковременных помех, а помехи приемникам, находящимся на расстоянии прямой видимости, ограничиваются путем применения критериев долговременных помех. В Рекомендации МСЭ-R SF.1006 содержатся методика и критерии помех для оценки долговременных и кратковременных помех и рекомендуется соблюдать эти критерии при определении возможных помех. Несмотря на то что станции ESV усложняют определение возможных помех, принципы остаются теми же: критерии кратковременных помех защищают удаленные станции от кратковременных помех большой мощности; критерии долговременных помех защищают близкорасположенные станции, обеспечивая защиту запаса на замирания приемника. Настоящее Приложение предоставляет основу для определения возможных помех во всех интересующих случаях.

В разделе 2, ниже, приводятся статистические данные о потерях при распространении между двумя станциями на поверхности Земли, и для различных протяженностей трасс показана связь между потерями, превышаемыми всегда, кроме того или иного процента времени, и критериями долгосрочных и краткосрочных помех, которые применяются, когда передающая земная станция находится в фиксированном местоположении. В разделе 3 рассматривается, как определить возможные помехи при наличии дополнительной трудности, обусловленной перемещением положения мешающей станции, и разрабатывается подход на основе использования подхода FDP, изложенного в Рекомендации МСЭ-R F.1108, в сочетании с методикой КТК из Приложения 1 к настоящей Рекомендации. В п. 4 показано, что данный подход приводит к методу определения приемлемости возможных помех на основе существующих долговременных критериев. В п. 5 разрабатывается подход к рассмотрению кратковременных помех на основе того же набора точек КТК.

2 Минимальные потери при распространении, требуемые для фиксированного процента времени, в случае стационарных станций

Минимальные требуемые потери при распространении, необходимые для соблюдения допустимого уровня мощности помех на выводах антенны приемной фиксированной станции в течение процента времени p , могут быть получены на основе Рекомендации МСЭ-R SM.1448, в которой минимальные требуемые потери определены как потери, которые должны быть равны прогнозируемым потерям в тракте или превышать всегда, кроме $p\%$ времени¹. Следовательно,

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p) \quad \text{дБ}, \quad (1)$$

где

- p : максимальный процент времени, в течение которого может быть превышена допустимая мощность помех
- $L_b(p)$: минимальные требуемые потери (дБ) в режиме распространения (1) для $p\%$ времени; эта величина должна превышать прогнозируемыми потерями на трассе в режиме распространения (1) всегда, кроме $p\%$ времени
- P_t : максимальный имеющийся уровень мощности передачи (дБВт) в эталонной ширине полосы на выводах антенны передающей наземной станции или земной станции
- $P_r(p)$: допустимая мощность помех мешающего излучения (дБВт) в эталонной ширине полосы, превышаемая не более чем в $p\%$ времени на выводах антенны приемной

¹ Если p является малым процентом времени (в диапазоне от 0,001% до 1,0%), то помехи называют кратковременными; если $p \geq 20\%$, то помехи называют долговременными.

наземной станции, которая может быть подвержена помехам, причем мешающее излучение происходит из одного источника

G_t : усиление (дБ относительно изотропного излучения) антенны передающей наземной станции или земной станции. В случае передающей земной станции – это усиление антенны по направлению к физическому горизонту при заданном азимуте

G_r : усиление (дБ относительно изотропного излучения) приемной антенны наземной станции или земной станции, которая может быть подвержена помехам. В случае приемной земной станции должно использоваться значение максимального усиления антенны по оси главного луча.

В случае долговременных помех процент времени обычно берется равным 20%, а допустимая мощность помех задается в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SF.1006 как

$$P_r(20) = 10 \log(k T_e B) + J \quad \text{дБВт}, \quad (2)$$

где

k : постоянная Больцмана, равная $1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К

T_e : температура теплового шума приемной системы (К) на выводе приемной антенны

B : эталонная ширина полосы (Гц), т. е. ширина полосы приемной станции, подверженной помехам, по которой может быть усреднена мощность излучения помех

J : отношение (дБ) допустимой мощности долговременных помех со стороны одного источника помех к тепловому шуму приемной системы.

В случае кратковременных помех процентом времени является соответствующая часть общего процента времени, в течение которого допустимо наличие помех. В целях настоящего рассмотрения возьмем процент, равным 0,001%, и запишем:

$$P_r(0,001) = 10 \log(k T_e B) + 10 \log(10^{M_s/10} - 1) \quad \text{дБВт}, \quad (3)$$

где M_s – запас для обеспечения качества линии (дБ).

Отметим, что допустимый уровень мощности кратковременных помех значительно выше допустимого уровня мощности долговременных помех, т. е.

$$P_r(0,001) - P_r(20) = 10 \log(10^{M_s/10} - 1) - J \quad \text{дБ}. \quad (4)$$

В Рекомендации МСЭ-R SF.1650 при расчете допустимой мощности кратковременных помех в отношении M_s используется значение 19 дБ. Если предположить значение -10 дБ в качестве типичного значения J , то разность в уравнении (4) составит:

$$P_r(0,001) - P_r(20) \approx 29 \quad \text{дБ}. \quad (5)$$

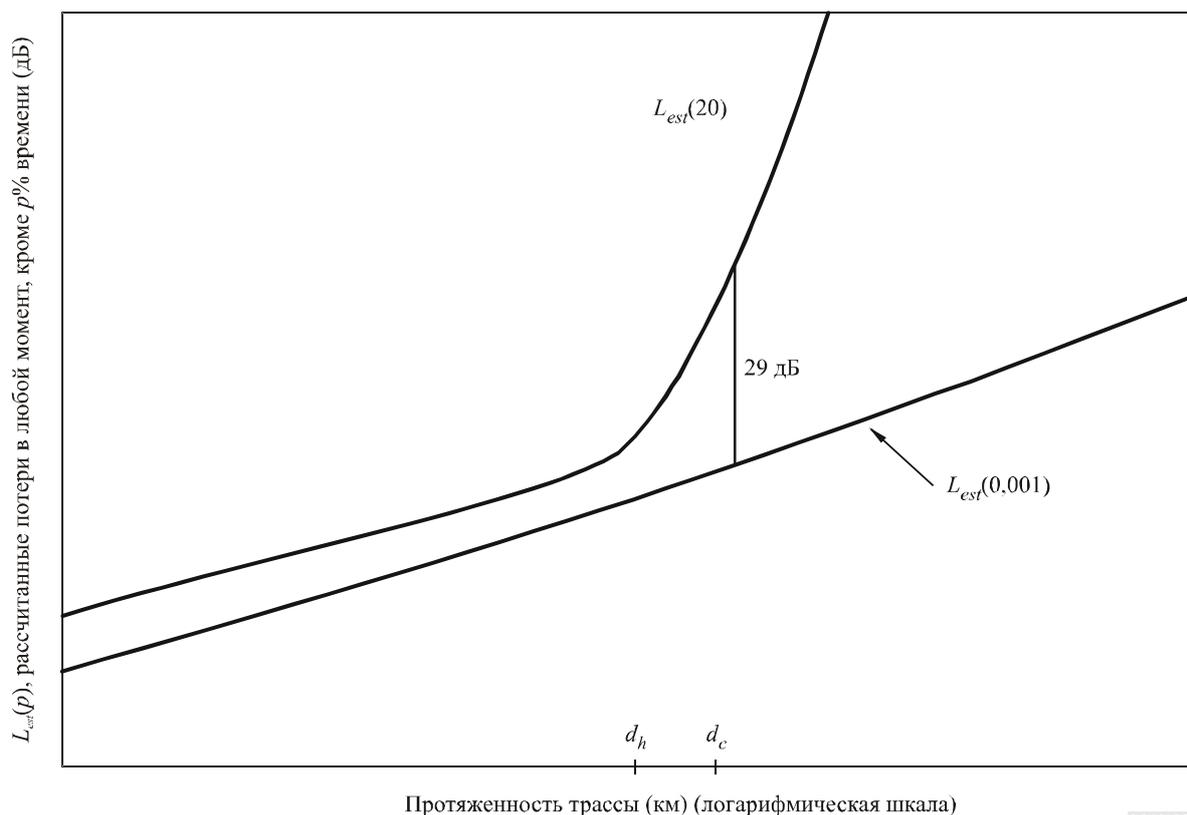
Эти допустимые уровни мощности помех могут быть использованы в уравнении (1) для определения минимальных требуемых потерь при распространении, уровень которых всегда должен превышать прогнозируемый уровень потерь на трассе, кроме того же процента времени. Прогнозируемый уровень потерь на трассе, превышаемый всегда, кроме процента времени p , может быть рассчитан с помощью процедуры, изложенной в Рекомендации МСЭ-R P.452, и обозначается как $L_{452}(p)$. Типичная зависимость от расстояния прогнозируемого уровня потерь на трассе, превышаемого всегда, кроме 20% времени, и всегда, кроме 0,001% времени, представлена на рис. 2.

На расстоянии трассы d_h при выбранных высотах антенн трасса распространения сигнала со стороны источника помех в направлении приемника ФС проходит под скользящим углом. При больших расстояниях приемник находится за радиогоризонтом, и уровень прогнозируемых потерь превышает всегда, кроме 20% времени, при этом $L_{452}(20)$ быстро увеличивается с расстоянием. На критическом расстоянии d_c разность между прогнозируемыми потерями, превышаемыми всегда, кроме 20% времени, и потерями, превышаемыми всегда, кроме 0,001% времени, составляет 29 дБ.

Следовательно, на этом расстоянии критерии долговременных и кратковременных помех для этих процентов времени одновременно либо соблюдаются либо не соблюдаются. На больших расстояниях критерий долговременных помех всегда соблюдается, если соблюдается критерий кратковременных помех. По этой причине при определении координационной зоны используются только критерии краткосрочных помех.

РИСУНОК 2

Зависимость от расстояния прогнозируемых потерь на трассе в любой момент, кроме 20% и 0,001% времени (оценка)



3 Последствия влияния изменений времени на параметры, кроме потерь при распространении

В случае станций ESV мощность помех, создаваемых в приемной антенне, зависит от изменений, связанных с движением передающей земной станции, и от изменяемых во времени потерь при распространении. Рассмотрение долговременных и кратковременных помех может быть проведено путем применения методов, используемых в других сценариях совместного использования частот. Отдельные подходы, необходимые для рассмотрения кратковременных и долговременных помех в случае движущихся станций ESV, изложены в следующих подразделах.

3.1 Рассмотрение кратковременных помех

Несмотря на большую сложность, рассмотрение кратковременных помех со стороны станций ESV не отличается от рассмотрения, используемого при определении координационной зоны для приемной фиксированной станции по отношению к земным станциям, работающим с космическими станциями НГСО. В случае НГСО только усиление в направлении к горизонту G_t , показанное в уравнении (1), изменяется во времени. Метод переменного во времени усиления (TVG), представленный в п. 2.2.1 Рекомендации МСЭ-R SM.1448, предлагается в качестве дополнительного метода для этих сценариев (см. также Рекомендацию МСЭ-R SF.1485). Применение метода TVG требует определения интегрального распределения уровня усиления к горизонту в направлении фиксированной станции,

превышаемого в проценты времени p_n . Для каждого процента p_n соответствующее усиление к горизонту и допустимый уровень мощности помех $P_i(p)$ используются в уравнении (1) для определения минимальных требуемых потерь, которые должны превышать всегда, кроме $p_v\%$ времени, при следующем ограничении:

$$p_v = \begin{cases} 100 p/p_n & \text{для } p_n \geq 2 p \\ 50 & \text{для } p_n < 2 p \end{cases} \% . \quad (6)$$

При определении координационной зоны прогнозируемые потери на трассе в $p_v\%$ времени должны превышать данные потери для каждого p_n на координационном расстоянии.

Случай ESV является более сложным в том смысле, что трасса распространения помех со стороны станции ESV фиксированной станции также изменяется по мере движения судна. Таким образом, не существует однозначной связи с процентами p_n и усилением G_n . Для определения потенциальных помех необходимо рассмотреть ряд точек вдоль рабочего контура ESV в качестве точек КТК и увязать с каждой из этих точек усиление в направлении горизонта передающей антенны и процент времени.

3.2 Рассмотрение долговременных помех

Рассмотрение долговременных помех со стороны ESV необходимо только для определения возможных помех. Этот сценарий не отличается от сценариев помех космос-Земля, создаваемых спутниками НГСО приемникам ФС, для которых была разработана концепция FDP. Рекомендация МСЭ-R F.1108 определяет FDP как:

$$FDP = \frac{\sum_i f_i I_i}{N_T} = \frac{\text{Средняя мощность помех}}{N_T}, \quad (7)$$

где

N_T : эффективная мощность шума на входе приемника в полосе частот B (дБ(Вт/В))

B : эталонная ширина полосы

I_i : i -й уровень мощности помех, имеющих место на входе приемника в полосе B (Вт/В)

f_i : доля времени присутствия помех i -го уровня.

В случае помех со стороны спутников НГСО обычно предполагается, что излучения спутников распространяются в условиях свободного пространства, хотя в некоторых случаях учитываются потери в атмосфере. Таким образом, FDP определяется на основании уравнения (7) с использованием моделирования для получения значений мощности помех и доли времени, в течение которого они возникают. Применение модели распространения, такой как приведена в Рекомендации МСЭ-R P.452, является обычной процедурой для определения потерь при распространении в случае рассмотрении помех между фиксированными наземными станциями и фиксированными земными станциями. С использованием Рекомендации МСЭ-R P.452 может быть разработан комбинированный подход для определения потерь при распространении, превышаемых всегда, кроме 20% времени, в отношении той или иной КТК. Масштабируя эти потери в соответствии с тем, что потери в свободном пространстве зависят от квадрата расстояния, можно в аналитической форме путем прямого интегрирования определить вклад в FDP результата работы той или иной ESV на участках курса ее следования. С целью обеспечения более близкого соответствия методике, используемой для определения возможных помех в случае земных станций, определение возможных помех будет осуществляться на основе средней мощности помех – величины в числителе уравнения (7). Эту среднюю мощность можно непосредственно сравнивать с допустимым значением долговременных помех. Более подробно данный подход описан в п. 4.

4 Подробное рассмотрение долговременных помех

Для рассмотрения долговременных помех со стороны станций ESV, действующих на предлагаемом контуре в пределах прибрежной зоны, необходимо, прежде всего, разделить рабочий контур на ряд отрезков прямых. Концы этих отрезков прямых позволяют определить все точки КТК, которые устанавливаются с использованием метода, приведенного в Приложении 1, и являются необходимыми для нахождения средней мощности помех. В случаях, когда ось основного луча антенны пересекает один из отрезков, точкой пересечения также является КТК для этой станции ФС. Средняя мощность помех определяется как сумма вкладов со стороны каждого отрезка рабочего контура. В соответствии с использованием и условными обозначениями Рекомендации МСЭ-R SF.1650 предполагается, что ежегодно f_{ESV} судов пересекают рабочий контур, скорость каждого из которых является постоянной и составляет v_{ESV} км/ч.

Если отрезок пересекается с осью главного луча антенны ФС, то вклад от прохождения ESV через главный луч, вероятно, будет большим, чем вклад от этого отрезка в среднюю мощность помех. Вклады от прохода через главный луч и от прохода через отрезок, с которым не пересекается ось главного луча, рассмотрены в следующих двух подразделах, соответственно. Общая процедура учета всех вкладов в среднюю мощность помех приведена в третьем подразделе.

4.1 Вклад в среднюю мощность помех при проходе через главный луч

Из Рекомендации МСЭ-R F.699 или МСЭ-R F.1245 может быть взята функциональная форма усиления антенны ФС (дБи) при угле φ_d (градусы) от направления прицеливания:

$$G_r(\varphi_d) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2 \varphi_d^2 \quad \text{для } \varphi_d < \varphi_{dm},$$

где

$$\frac{D}{\lambda} = 10^{(G_{max}-7,7)/20} \quad (\text{отношение диаметра антенны к длине волны})$$

$$\varphi_{dm} = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad (\text{угол от направления прицеливания относительно первого бокового лепестка (градусы)})$$

$$G_1 = 2 + 15 \log(D/\lambda) \quad (\text{усиление антенны в первом боковом лепестке (дБи)}).$$

Тогда коэффициент усиления в главном луче в пределах угла φ_d (градусы) от направления прицеливания задается формулой²:

$$g_r(\varphi_r) = g_{max} e^{-\alpha^2 \varphi_r^2} \quad \text{для } \varphi_r < \varphi_{dm}, \quad (8)$$

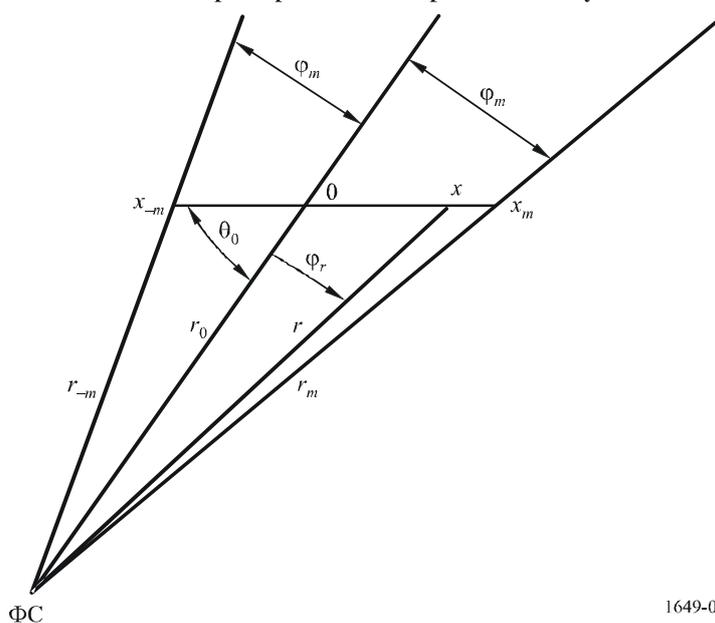
где

$$\alpha^2 = \frac{\ln(10)}{10} (2,5 \times 10^{-3}) \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2.$$

² В этих выводах величины, выражаемые в дБ, дБи или дБВт, выделены заглавными римскими курсивными символами. Те же величины в случае их выражения в отношениях мощности или единицах мощности обозначаются теми же римскими курсивными, но строчными символами, с тем же подстрочным индексом. Таким образом, $g_{max} = 10^{G_{max}/10} = e^{G_{max} \ln(10)/10}$.

РИСУНОК 3

Геометрия прохода ESV через главный луч



1649-03

Геометрия прохода главного луча показана на рис. 3. Рабочий курс ESV проходит по оси x , которая пересекает ось главного луча в $x = 0$ при угле θ_0 . Главный луч антенны имеет ширину -10 дБ ($2\varphi_m$), составляющую менее 2° для антенны с максимальным усилением 45 дБи, которое является типичным для диапазона 6 ГГц. Главный луч пересекает путь ESV на протяжении x между x_{-m} и x_m . Мощность принимаемого сигнала (ватты в эталонной ширине полосы) при перемещении станции ESV из точки, где ось главного луча пересекается с путем ESV, на расстояние x км, а от приемника ФС – на r км, может быть записана следующим образом:

$$P_{r,x} = \frac{P_t g_{t0} g_{rmax}}{\ell_{452}(20) \ell_F} \frac{r_0^2}{r^2} e^{-\alpha^2 \varphi_r^2}, \quad (9)$$

где

- P_t : мощность передачи (Вт) в эталонной ширине полосы
- g_{t0} : усиление передающей антенны (коэффициент) в направлении приемника ФС при пересечении ESV с лучом
- g_{rmax} : максимальное усиление (в виде коэффициента) приемной антенны
- ℓ_F : коэффициент потерь в фидере приемной системы ФС
- $\ell_{452}(20)$: коэффициент потерь при распространении, рассчитанный по Рекомендации МСЭ-R P.452, который будет превышать всегда, кроме 20% времени
- φ_r : угол относительно оси главного луча (градусы)
- φ_m : угол относительно оси главного луча (градусы), при котором усиление приемной антенны на 10 дБ ниже его максимального значения.

Следует отметить, что усиление передающей антенны предполагается постоянным в узкой угловой области (менее 2°), а потери при распространении были масштабированы в отношении расстояния r .

Поскольку половина ширины главного луча составляет менее 1° , можно записать, что примерно:

$$r = r_0 + x \cos \theta_0$$

$$\varphi_r = (180/\pi)x \sin \theta_0 / (r_0 + x \cos \theta_0).$$

Среднее значение мощности помех передатчика, равномерно распределенных на пути от x_{-m} до x_m , составляет:

$$\overline{p_{r,0}} = \frac{1}{x_m - x_{-m}} \int_{x_{-m}}^{x_m} p_{r,x} dx,$$

где $p_{r,x}$ задается уравнением (9). При изменении переменной интегрирования на φ_r данная формула принимает вид:

$$\overline{p_{r,0}} = \frac{p_t g_{t0} g_{r \max}}{\ell_{452}(20) \ell_F} \frac{2\varphi_m r_0 (\pi/180)}{(x_m - x_{-m}) \sin \theta_0} \left[\frac{1}{2\varphi_m} \int_{-\varphi_m}^{\varphi_m} e^{-\alpha^2 \varphi_r^2} d\varphi_r \right]. \quad (10)$$

Член в квадратных скобках представляет собой среднее усиление, относящееся к $g_{r \max}$ (в виде коэффициента) главного луча, которое измерено между углами в случае, когда усиление ниже максимального усиления на 10 дБ. В отношении эталонной диаграммы направленности антенны данная величина имеет значение 0,565.

Среднее значение, заданное уравнением (10), может быть преобразовано в среднюю суммарную мощность за год путем его умножения на долю года, в течение которой эта средняя мощность помех имеет место. Время в часах прохода судна через главный луч составляет $(x_m - x_{-m})/v_{ESV}$. Если количество судов, ежегодно проходящих через главный луч, составляет f_{ESV} , то средняя суммарная мощность помех, усредненная за год, задается формулой³:

$$\tilde{I}_{0,av} = \frac{p_t g_{t0} g_{r \max}}{\ell_{452}(20) \ell_F} \frac{2\pi\varphi_m r_0}{180 v_{ESV} \sin \theta_0} \frac{f_{ESV}}{8760} (0,565), \quad (11)$$

где 8760 – количество часов в году.

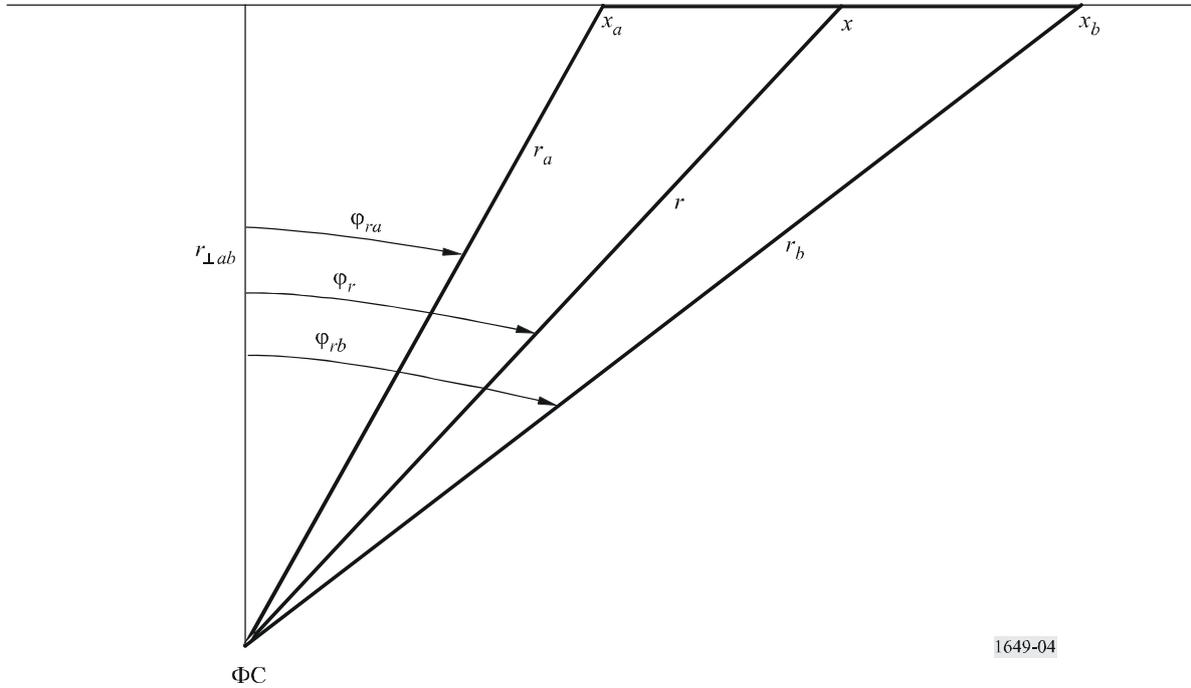
Следует отметить, что средняя мощность долговременных помех будет значительно ниже мощности, которую имела бы земная станция с теми же характеристиками, постоянно находящаяся в точке пересечения оси главного луча ФС с рабочим путем ESV. Например, в случае угла пересечения 90° , при котором создается наименьший уровень помех, и 1000 проходов судна со скоростью 5 узлов (9,261 км/ч) на расстояние 20 км средний уровень помех, задаваемых уравнением (11), будет на 23,8 дБ ниже. В тех же условиях, но при угле пересечения 20° , среднее значение было бы ниже только на 19,1 дБ. Конечно, необходимо учитывать вклады от работы ESV и на других участках рабочего пути, поскольку они могут дополнительно уменьшить эту разницу в дБ. Даже если этими вкладами можно было бы пренебречь, неясно будут ли относиться к данному случаю критерии долговременных помех или критерии кратковременных помех, учитывая что критерии кратковременных помех применялись бы к мощности помех на пересечении оси главного луча с рабочим контуром. По этой причине оба критерия (кратковременных и долговременных помех) должны применяться в случае движущихся станций ESV.

³ Тильда (~) над символом средней мощности помех используется в качестве напоминания, что эта величина представляет собой мощность в ваттах в эталонной ширине полосы.

4.2 Вклад в среднюю мощность помех со стороны отрезка, не имеющего точек пересечения с главным лучом

РИСУНОК 4

Геометрия прохода ESV по отрезку рабочего контура
вне главного луча антенны ФС



Геометрия и система координат для данной случая представлены на рис. 4. Судно пересекает отрезок рабочего контура между x_a и x_b . Формула аналогична формуле уравнения (9) за исключением того, что длина отрезка может быть гораздо больше, чем длина прохода по ширине луча. Следовательно, в этом случае усиление в направлении горизонта станции ESV заменяется его максимальным значением по азимуту в направлении приемника ФС, когда она проходит по данному отрезку. Тогда как при интегрировании могла бы быть учтена реальная диаграмма направленности усиления, более простой подход предполагает, что усиление ФС (дБи) изменяется линейно в зависимости от угла азимута между φ_a и φ_b . Отметим, что углы азимута в этой формуле измерены от направления перпендикуляра, проведенного из точки местоположения станции ФС к линии, содержащей отрезок между x_a и x_b . Линейная аппроксимация является осторожным подходом в том смысле, что диаграммы направленности усиления эталонной антенны за пределами главного луча являются равномерными или вогнутыми вверх; она не ухудшит точности результатов, поскольку разница в усилении между двумя концами отрезка обычно невелика. Соответственно, мощность принимаемого сигнала (в Ваттах в эталонной ширине полосы) в случае, когда ESV находится на таком отрезке на расстоянии x от точки пересечения с перпендикуляром, проведенным от станции ФС к линии, содержащей данный отрезок, задается как

$$P_{r,x} = \frac{P_t g_{t,ab}}{\ell_{452.a} (20) \ell_F} \frac{r_a^2 g_{r\varphi_r}}{r_{\perp ab}^2 + x^2}, \quad (12)$$

где

- P_t : мощность передачи (Вт) в эталонной ширине полосы
- $g_{t,ab}$: максимальный коэффициент усиления передающей антенны в направлении приемника ФС, если станция ESV находится между x_a и x_b
- ℓ_F : коэффициент потерь в фидере приемной системы ФС

$\ell_{452.a}(20)$: коэффициент потерь при распространении в направлении точки x_a , рассчитанный по Рекомендации МСЭ-R P.452, который превышает всегда, кроме 20% времени

$g_{r\varphi_r}$: усиление (в виде коэффициента) приемной антенны по азимуту φ_r в направлении точки x

$r_{\perp ab}$: расстояние от станции ФС до линии, содержащий отрезок между x_a и x_b .

Если предположить, что усиление приемной антенны (дБ) изменяется линейно от G_a при φ_{ra} до G_b при φ_{rb} , то коэффициент усиления $g_{r\varphi_r}$ можно записать как

$$g_{r\varphi_r} = g_{ra} e^{\frac{\ln(10)}{10} \left(\frac{G_{rb} - G_{ra}}{\varphi_{rb} - \varphi_{ra}} \right) (\varphi_r - \varphi_{ra})} \quad (13)$$

Среднее значение мощности помех $\overline{p_{r,ab}}$ на отрезке можно вывести, как и в уравнении (10) путем интегрирования уравнения (12) по интервалу от x_a до x_b и деления на длину интервала. Изменяя переменную интегрирования на φ_r , где $x = r_{\perp ab} \tan(\pi\varphi_r/180)$, получаем:

$$\overline{p_{r,ab}} = \frac{p_t g_{t,ab}}{\ell_{452.a}(20) \ell_F} \frac{\pi r_a^2 (\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) \sqrt{g_{ra} g_{rb}}}{180 r_{\perp ab} (x_b - x_a)} \operatorname{sinh}((G_b - G_a) \ln(10)/20), \quad (14)$$

где углы φ_{ra} и φ_{rb} выражены в градусах:

$$\operatorname{sinh}(x) = \frac{\sinh(x)}{x}.$$

Время в часах прохода судна по этому отрезку рабочего пути станции ESV составляет $(x_b - x_a)/v_{ESV}$. Если количество судов в год, проходящих через главный луч, равно f_{ESV} , то суммарная средняя мощность помех со стороны отрезка задается формулой

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{p_t g_{t,ab} \sqrt{g_{ra} g_{rb}}}{\ell_{452.a}(20) \ell_F} \frac{\pi r_a^2 (\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) f_{ESV}}{180 r_{\perp ab} 8760 v_{ESV}} \operatorname{sinh}((G_{rb} - G_{ra}) \ln(10)/20). \quad (15)$$

Наличие члена $r_a^2 / \ell_{452.a}(20)$ в уравнении (15) служит доказательством того, данный вывод был начат с раскрытия формулы коэффициента потерь при распространении в точке x_a . Если средняя мощность помех была определена исходя из коэффициента потерь при распространении в точке x_a , то формула средней мощности помех будет идентичной за исключением замены $r_a^2 / \ell_{452.a}(20)$ на $r_b^2 / \ell_{452.b}(20)$. Если коэффициент потерь при распространении превышает всегда, кроме 20% времени, и изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то эти два члена будут также одинаковыми. Простым подходом, вводящим поправку на отклонение от этой зависимости, соответствующей обратной пропорциональности квадрату расстояния, является усреднение по двум расчетам, которое дает:

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{p_t g_{t,ab} \sqrt{g_{ra} g_{rb}}}{2 \ell_F} \frac{\pi (\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) f_{ESV}}{180 r_{\perp ab} 8760 v_{ESV}} \left(\frac{r_a^2}{\ell_{452.a}(20)} + \frac{r_b^2}{\ell_{452.b}(20)} \right) \times \operatorname{sinh}((G_{rb} - G_{ra}) \ln(10)/20) \quad (16)$$

4.3 Суммарная средняя мощность помех со стороны рабочего контура

Точки КТК определяются путем разделения рабочего контура станции ESV на отрезки прямых и определения географических местоположений точек, в которых соединяются концы отрезков. После нахождения азимута на каждую из этих критических точек с заданного приемника ФС можно просто определить, пересекается ли ось главного луча антенны ФС с каким-либо отрезком.

Если пересечений с главным лучом нет, то среднее значение возможных помех может быть определено путем суммирования вкладов от каждого отрезка рабочего контура с использованием уравнения (16).

Если главный луч пересекается с одним из сегментов, то будут иметь место один, два или три вклада в общую среднюю мощность возможных помех со стороны операций на этом пересекаемом отрезке. Эти вклады добавляются к частичной сумме, получаемой в результате сложения вкладов от каждого оставшегося отрезка, которая рассчитывается с помощью уравнения (16).

Три возможных вклада со стороны пересекаемого отрезка определяются следующим образом:

- Вклад, соответствующий проходу через главный луч, определяется путем применения уравнения (11). Если этот отрезок полностью укладывается в главный луч антенны ФС, то имеет место единственный вклад со стороны этого отрезка.
- Вклад со стороны участков отрезка вне главного луча антенны ФС могут быть определены с использованием уравнения (16) путем определения дополнительной(ых) КТК на границе главного луча.

В ходе данных рассмотрений предполагалось, что усиление в направлении горизонта передающей антенны ESV существенно не изменяется в зависимости от азимута. Процедура может быть легко изменена для учета изменения усиления в направлении горизонта в зависимости от азимута. Если ни одна из антенн не имеет максимального усиления в точке расположения ESV на отрезке, то усреднение по усилению, которое применялось к усилению приемной антенны в п. 4.2, может быть применено к составляющим коэффициентов усиления передающей и приемной антенн. В этом случае уравнение (16) принимает вид:

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{P_t \sqrt{g_{ta} g_{ra} g_{tb} g_{rb}}}{2 \ell_F} \frac{\pi(\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) f_{ESV}}{180 r_{\perp ab} 8760 v_{ESV}} \left(\frac{r_a^2}{\ell_{452,a}(20)} + \frac{r_b^2}{\ell_{452,b}(20)} \right) \times \operatorname{sinh}((G_{tb} + G_{rb} - G_{ta} - G_{ra}) \ln(10) / 20) \quad (17)$$

где

- g_{ta} : коэффициент усиления передающей антенны в направлении приемника ФС, если станция ESV находится в КТК (в точке x_a)
- g_{tb} : коэффициент усиления передающей антенны в направлении приемника ФС, если станция ESV находится в КТК (в точке x_b).

В ином случае, если усиление передающей антенны максимально по отношению к приемнику ФС, когда станция ESV проходит по тому или иному отрезку, а усиление приемной антенны не максимально, более точный результат может быть получен путем определения точки на отрезке, где конкретный приемник ФС испытывает воздействие этого максимума, поскольку дополнительная КТК будет использоваться для определения возможных помех данному приемнику.

5 Подробное рассмотрение кратковременных помех

Рассмотрения кратковременных возможных помех со стороны станций ESV отличаются от рассмотрений кратковременных помех, используемых при определении прибрежной зоны, за пределами которой нет необходимости учитывать помехи со стороны ESV, в двух отношениях. При определении прибрежной зоны рассмотрение ограничивалось случаями пересечения станцией ESV оси главного луча приемной антенны ФС. Рассмотрение дополнительно ограничивалось случаем, когда пересекающий путь был перпендикулярен оси главного луча. Рассмотрение кратковременных помех, представленное в настоящем разделе, учитывает все возможности и, таким образом, будет соответствовать исследованию предыдущего раздела.

При рассмотрении возможных кратковременных помех приемнику ФС со стороны ESV, находящейся на своем рабочем контуре, необходимо установить мощность возможных кратковременных помех от каждой критической точки этого контура для определения того, какая точка влияет на кратковременные помехи. В следующем выводе будет сделано предположение, что существует одна критическая точка, определяющая мощность кратковременных помех, которая превышает в указанный процент времени и которую можно сравнить с критерием кратковременных помех. Ввиду взаимосвязи между параметрами не всегда можно непосредственно определить точку, оказывающую влияние, и соответствующую мощность. Несмотря на то, что возможны несколько подходов, подход, изложенный в настоящем разделе, представляется наиболее непосредственным.

Для удобства в следующих выводах критическая точка контура, определяемая пересечением с главным лучом (если такое пересечение существует), будет обозначена цифрой 0. Остальные КТК, которые определяют точки изменения направления рабочего контура, будут последовательно пронумерованы по контуру от 1 до $N_{ссп}$, где $N_{ссп}$ – количество таких КТК на рабочем пути станции ESV. В соответствии с рассмотренным в п. 3.1 и выводами п. 4 мощность на входе приемника ФС (дБВт), которая превышает в p_{ST} % времени, когда ESV работает вблизи i -й КТК, задается как

$$I_{ST,i}(p_{ST}) = P_t + G_{t,i} + G_{r,i} - L_F - L_{452,i}(p_{Li}), \quad (18)$$

где

- p_{ST} : процент времени, в течение которого может быть превышен допустимый уровень мощности кратковременных помех (см. уравнение (3))
- P_t : мощность передачи (дБВт) в эталонной ширине полосы
- $G_{t,i}$: усиление передающей антенны в направлении приемника ФС, когда станция ESV находится в i -й КТК, при $i = 1$ до $N_{ссп}$ (дБи)
- $G_{r,i}$: усиление приемной антенны в направлении ESV, когда станция ESV находится в i -й КТК, при $i = 1$ до $N_{ссп}$ (дБи)
- L_F : потери в фидере приемной системы ФС (дБ)
- $L_{452,i}(p_{Li})$: потери при распространении к i -й КТК, рассчитанные по Рекомендации МСЭ-R P.452, которые будут превышать всегда, кроме p_{Li} % времени, при $i = 1$ до $N_{ссп}$ (дБи).

Процент времени p_{Li} задается формулой:

$$p_{Li} = 100 p_{ST} / p_{ESVi}, \quad (19)$$

где

- p_{ESVi} : процент времени, связанный с работой ESV вблизи i -й КТК.

Если необходимо, процент p_{Li} следует ограничить, с тем чтобы он находился на интервале от 0,001% до 50%, как требует Рекомендация МСЭ-R P.452.

В случае пересечения с главным лучом возможна непосредственная оценка необходимых значений. Процент времени, связанный с работой ESV вблизи пересечения с главным лучом, – это время пересечения главного луча антенны ФС при указанном уровне усиления относительно максимального усиления. В настоящей Рекомендации и в п. 4 было использовано значение ширины 10 дБ. В целях обеспечения согласованности то же значение ширины должно использоваться для определения возможных кратковременных помех. Используя значение ширины полосы 10 дБ в качестве основы для расчета процентов p_{ESV0} , получим

$$p_{ESV0} = 4 \times 10^{-4} \frac{f_{ESV} \Phi_m r_0}{v_{ESV} \sin \theta_0}, \quad (20)$$

где символы были определены при выводе уравнения (11).

Используя уравнения (18)–(20), можно определить $I_{ST,0}$ – значение мощности сигнала помех в приемнике ФС, превышаемой в течение $p_{ST}\%$ времени из-за работы станции ESV в главном луче антенны ФС. Хотя, возможно, существуют области, близкие к другой критической точке на рабочем контуре ESV, наличие которых может привести к появлению мощности кратковременных помех почти столь же высокого уровня для того же процента времени, будет рассматриваться только один наихудший случай максимальной мощности. Иной случай предполагал бы разбиение допустимого процента времени p_{ST} между этими КТК.

В целях определения мощности возможных помех со стороны той или иной КТК, не являющихся следствием пересечения главного луча с отрезком рабочего контура, следует, прежде всего, определить соответствующий процент времени, в течение которого станция ESV работает вблизи этой КТК. Наиболее непосредственный и осторожный подход состоит в ассоциировании с данной КТК половины от каждого соседнего рабочего отрезка или обоих этих отрезков. Таким образом, обозначая через $x_{i,i+1}$ длину отрезка между КТК с номером i и соседней КТК с номером $(i+1)$, получим процент времени, связанный с этой КТК:

$$p_{ESVi} = \text{Меньший} \frac{f_{ESV}}{87,6v_{ESV}} \frac{(x_{i,i-1} + x_{i,i+1})}{2} \text{ и } 100\% . \quad (21)$$

Значения каждой из критических мощностей возможных кратковременных помех могут быть определены ($i \neq 0$) с использованием уравнений (21) и (19) с (18). Самое большое значение этой мощности кратковременных помех будет использоваться для сравнения с допустимым уровнем мощности кратковременных помех.

6 Резюме

В настоящем Приложении описан набор процедур, которые могут быть использованы для определения возможных помех со стороны излучений станции ESV, работающей на установленном контуре вблизи суши.

Несмотря на то, что данная процедура сконцентрирована на диапазоне 6 ГГц, тот же подход может применяться для диапазона 14 ГГц, также рассматриваемого в Резолюции 82 (ВКР-2000). На качество линий фиксированной службы влияют многолучевые замирания и замирания в осадках, а относительная значимость этих двух механизмов зависит от радиометеорологического климата. При прочих постоянных факторах условия совместного использования частот носят более ограничительный характер, если многолучевые замирания влияют на качество линии фиксированной службы. Таким образом, данная процедура должна быть также соответствующей для диапазона 14 ГГц.

С таблицей параметров для использования в качестве руководства при применении этого метода можно ознакомиться в Рекомендации МСЭ-R SF.1650. Параметры станций ESV должны представлять параметры реальной системы, которые должны соответствовать параметрам из Рекомендации МСЭ-R S.1428. Параметры линий фиксированной службы должны также представлять собой параметры реальной системы. Что касается критериев помех, то к ним могут иметь отношение Рекомендации МСЭ-R SF.1006 и МСЭ-R SF.1650.

Приложение 3

Альтернативный метод расчета помех со стороны станций ESV

1 Введение

В настоящем Приложении изложено дальнейшее развитие метода, описанного в Приложении 2, т. е. он может быть применен для полного моделирования работы ESV. Для этого метода необходимо дополнительное вычислительное время. Это может обеспечить более точные результаты при существовании особенностей рельефа местности вдоль рабочего контура, которые обуславливали бы

различное экранирование приемника ФС от ESV, а также особенностей рельефа вокруг приемника и критических точек контура. Процедуры, изложенные в настоящем Приложении, могут быть применены ко всему рабочему контуру или к участкам контура, при этом к остальной части контура применяется процедура Приложения 2.

2 Процедура моделирования

Первоначально рабочий контур разделяют на большое количество R малых отрезков прямых линий, так чтобы r_i была длиной i -го отрезка в км при ($i = 1, 2, \dots, R$). Как правило, длины этих отрезков гораздо меньше длин отрезков, рассматриваемых в Приложении 2. В подходе на основе моделирования предполагается, что вклад помех, вызванных работой станций ESV на любом отрезке, может быть отнесен к работе в средней точке этого отрезка. Если ось главного луча антенны ФС пересекает рабочий контур в точке ЕТП, то количество отрезков должно быть достаточно большим для обеспечения довольно близкого нахождения средней точки, по крайней мере, одного отрезка к ЕТП, с тем чтобы усиление антенны в средней точке отрезка не превышало более чем на 1 дБ усиления в ЕТП.

3 Определение возникновения кратковременных помех путем моделирования

Определение возникновения кратковременных помех требует суммирования возникающих кратковременных помех на каждом отрезке рабочего контура ESV. Если только один из отрезков рабочего контура будет занят в какое-либо время, то может быть осуществлено суммирование распределений процента времени. Таким образом,

$$p_{ST} = \sum_{i=1}^R p_{STi} F_{Yi}, \quad (22)$$

где

- p_{ST} : рассчитанный процент времени за год, в течение которого помехи превышают критерии кратковременных помех, I_{STC}
- p_{STi} : рассчитанный процент времени за год, в течение которого мощность помех превысила бы критерии помех I_{STC} , если бы положение ESV постоянно находилось в центре i -го отрезка рабочего контура
- F_{Yi} : доля времени за год, в течение которого ESV находится на i -м отрезке.

Процент времени p_{STi} определяется исходя из потерь при распространении на трассе от центра до i -го отрезка, необходимых для приведения мощности помех, попадающих в приемник ФС, в соответствие с I_{STC} , т. е.

$$L_{STi} = P_t + G_{t,i} + G_{r,i} - L_F - I_{STC}, \quad (23)$$

где

- L_{STi} : потери при распространении, которые должны быть меньше потерь от центра i -го отрезка до приемника ФС, если требуемая мощность помех должна быть меньше критического значения I_{STC} (дБ)
- P_t : мощность передачи (дБВт) в эталонной ширине полосы
- $G_{t,i}$: усиление в сторону горизонта передающей антенны станции ESV в направлении приемника ФС, если ESV находится в центре i -го отрезка (дБи)
- $G_{r,i}$: усиление приемной антенны ФС в направлении ESV, если ESV находится в центре i -го отрезка (дБи)
- L_F : потери в фидере приемной системы ФС (дБ)
- I_{STC} : критическая мощность помех, попадающих в приемник ФС, в отношении которой указан допустимый процент времени для критерия кратковременных помех (дБВт).

Процент времени p_{STi} определяется как процент времени, для которого потери при распространении $L_{452.i}(p)$ на трассе от центра i -го отрезка, рассчитанные с помощью Рекомендации МСЭ-R P.452, будут равны требуемым потерям L_{STi} или превышать их. Однако модель распространения по Рекомендации МСЭ-R P.452 предоставляет только потери при распространении, превышаемые всегда, кроме p процентов времени, причем p принимает значения между 0,001% и 50%. Следовательно, для этих моделей распространения:

$$p_{STi} = \begin{cases} 100 & \text{для} & L_{452.i}(50) < L_{STi} \\ \text{значение такое, как} & & L_{452.i}(p_{STi}) = L_{STi} \\ 0,001 & \text{для} & L_{452.i}(0,001) > L_{STi} \end{cases} \quad (24)$$

Если процент времени p_{STi} принимает значения между 0,001% и 50% времени, то для выполнения уравнения (24) может потребоваться внедрить итеративную процедуру для определения процента времени исходя из указанных потерь при распространении.

Если скорость ESV v_{ESV} постоянна на участке рабочего контура, в отношении которого выполняется моделирование, если количество судов, проходящих за год по рабочему контуру, составляет f_{ESV} , и если i -ый отрезок имеет длину r_i , то параметр F_{Yi} в уравнении (22) может быть определен как

$$F_{Yi} = \frac{f_{ESV} \cdot r_i}{8\,760 v_{ESV}} \quad (25)$$

Кроме того, если все отрезки имеют одинаковую длину r_0 (км), то параметр F_{Yi} является постоянной величиной, и уравнение (22) может быть упрощено следующим образом:

$$p_{ST} = \frac{f_{ESV} \cdot r_0}{8\,760 v_{ESV}} \sum_{i=1}^R p_{STi} \quad (26)$$

4 Определение долговременных помех с помощью моделирования

Долговременные помехи, возникающие вследствие функционирования станции ESV на рабочем контуре, могут быть определены с использованием многих из тех величин, которые были рассчитаны с целью установления кратковременных помех. Долговременные помехи определяются как среднее значение мощности помех. Мощность помех, которая превышалась бы в 20% времени, если бы станция ESV постоянно располагалась в центре i -го отрезка контура, используется в качестве оценки средней мощности помех на этом отрезке. Тогда мощность долговременных помех I_{LT} может быть выражена суммой вкладов от каждого отрезка, значение которых определяется долей времени пребывания ESV на данном отрезке за год. Следовательно,

$$I_{LT} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^R \tilde{I}_{LT,i} F_{Yi} \right) \quad \text{дБВт}, \quad (27)$$

где

$$\tilde{I}_{LT,i} = 10^{(P_i + G_{r,i} + G_{r,i} - L_F - L_{452.i}(20))/10} \quad \text{Вт}. \quad (28)$$

Все другие величины были определены ранее.

Отметим, что потери $L_{452,i}$ (18) могут быть непосредственно рассчитаны с помощью Рекомендации МСЭ-R P.452. Отсутствует также сложность, связанная с одновременным занятием нескольких отрезков рабочего контура, поскольку вклады от каждого прохода каждого судна складываются. Мощность помех, определенных по уравнению (3), можно непосредственно сравнивать с критерием долговременных помех для приемника ФС.

5 Процедуры быстрого моделирования

В случаях наличия естественной точки пересечения (ЕТП) на рабочем контуре станции ESV, в которой ось главного луча приемной антенны ФС пересекает рабочий контур, часто можно упростить процедуры, описанные в пп. 3 и 4. Ввиду наличия высокого усиления в главном луче типовых антенн ФС наибольшие значения мощности помех, вероятно, будут воздействовать на приемник, когда станция работает вблизи ЕТП.

Следовательно, большие значения мощности помех, которые превышали бы уровень критической мощности в отношении критерия кратковременных помех, могли бы возникнуть только в результате работы ESV вблизи ЕТП. Таким образом, процедуру п. 3 было бы необходимо выполнять только для участка рабочего контура. Участок между двумя точками рабочего контура, в которых усиление антенны ФС будет на 10 дБ ниже максимального значения, во многих случаях был бы подходящим в соответствии с п. 2.2.1 и п. 2.2.3 Приложения 1, п. 4.1 и п. 5 Приложения 2.

Несмотря на то что можно было бы реализовать аналогичную процедуру с помощью подхода, изложенного в п. 5 Приложения 2, подход на основе моделирования более точно учитывает влияние формы луча антенны на рассчитываемый процент времени, в течение которого превышает критическая мощность.

Методы быстрого моделирования могут также использоваться для рассмотрения влияния долговременных помех, однако в этом случае требуется большая осторожность. Помехи более низкого уровня будут поступать через боковые лепестки антенны в приемник ФС в течение гораздо больших периодов времени. Методика оценки долговременных помех должна учитывать именно такие виды явлений. Вследствие больших процентов времени, связанных с воздействием через боковые лепестки, участок рабочего контура, который следует включить в моделирование, будет длиннее, чем в случае рассмотрения кратковременных помех. Участок рабочего контура, который необходимо рассмотреть, следовало бы определить с помощью адаптивного расчета.

Если критерий кратковременных помех не был удовлетворен в отношении конкретного приемника, было бы необходимо провести анализ долговременных помех для этого приемника.

Следует отметить, что всегда существуют конкретные обстоятельства, которые могут поставить под вопрос обоснованность методов быстрого моделирования. Один из случаев возникает, когда ось главного луча антенны пересекает рабочий контур ESV под углом свыше, скажем, 75° от перпендикуляра. Другой случай может возникнуть, когда рабочий контур имеет изгиб, так что трасса распространения помех к ЕТП является загоризонтной трассой. Если рабочий контур проходит вблизи от приемника ФС, то, возможно, было бы необходимо провести оценку помех на значительной части рабочего контура.

6 Определение полного распределения мощности помех путем моделирования

Процент времени p_I , в течение которого превышает какой-либо произвольный промежуточный уровень помех I , может быть также определен с использованием процедуры, описанной в п. 3 настоящего Приложения, путем простой замены I_{STC} уровнем I помех и последующего решения уравнений (23), (24) и (22) в данном порядке. Непрерывное множество пар (I, p_I) характеризует комплементарную интегральную функцию распределения (КИФР) мощности помех. К этим расчетам также применяются те же ограничения, которые приведены в п. 3.

Полное распределение процента времени, в течение которого превышает мощность помех, может быть использовано для получения среднего значения мощности принимаемых помех для сравнения с критерием долговременных помех. Отметим, что если существуют проценты времени, в течение которого превышает критическая мощность кратковременных помех, то значение критерия кратковременных помех будет превышено и не потребуется выводить полное распределение. Для простоты здесь предполагается, что критическое значение мощности кратковременных помех не превышает. В этом случае для определения средней мощности помех требуется, чтобы распределение мощности помех было преобразовано в комплементарную интегральную функцию распределения мощности помех в ваттах. Используя интегрирование по частям легко показать, что средняя мощность помех может быть получена как интеграл этого распределения по всем значениям мощности.

Очевидно, что этот метод определения средней мощности помех является гораздо более трудоемким в плане вычислений, чем метод, изложенный в п. 4 Приложения 2 или п. 4 настоящего Приложения.

Приложение 4

Технические параметры, требуемые для обеспечения соответствия антенн меньшего размера в диапазоне 14 ГГц

Резолюция 902 (ВКР-03) требует, чтобы антенны ESV, размеры которых меньше существующего минимального размера в 1,2 м для полосы 14,0–14,5 ГГц, соответствовали ограничениям в отношении четырех конкретных технических параметров. Эти параметры приведены в Приложении 2 к Резолюции 902 (ВКР-03). Они предназначены для защиты наземных служб, которые могут совместно использовать эту полосу, и защиты соседних спутников от спутника, с помощью которого ESV осуществляет связь.

Четырьмя конкретными параметрами и ограничениями, требуемыми для обеспечения соответствия антенн меньшего размера, являются:

- a) точность слежения антенны ($\pm 0,2^\circ$ или выше);
- b) максимальная спектральная плотность э.и.и.м. станции ESV в направлении горизонта (12,5 дБ(Вт/МГц));
- c) максимальная э.и.и.м. станции ESV в направлении горизонта (16,3 дБВт); и
- d) максимальная плотность внеосевой э.и.и.м. в рамках ограничений, указанных ниже.

Внеосевые ограничения

Для земных станций на борту судов, работающих в полосе 14,0–14,5 ГГц, при любом указанном ниже угле ϕ от оси главного лепестка антенны земной станции максимальная э.и.и.м. в любом направлении в пределах 3° от направления на геостационарную орбиту приведена в Приложении 2 к Резолюции 902 (ВКР-03).

1 Совместимость с координационными соглашениями между системами

Администрации принимают процедуры лицензирования в отношении станций, диаметры антенн которых равны минимальным предельным размерам, указанным в необходимом(их) координационном(ых) соглашении(ях) между системами, или превышают их. Однако операторы, которые ввиду конкретных потребностей в отношении передачи хотят разворачивать антенны размерами меньше минимальных предельных размеров, должны получить согласие затронутых администраций, а также администраций, являющихся участниками соответствующих координационных соглашений между системами ФСС.

2 Влияние минимального расстояния, заданного в Рекомендации МСЭ-R SF.1650-1

Резолюция 902 (ВКР-03) требует также, чтобы положения Рекомендации МСЭ-R SF.1650-1 учитывались при предоставлении разрешения на использование антенн ESV, диаметры которых меньше установленных минимальных значений. В Рекомендации МСЭ-R SF.1650-1 указывается минимальное расстояние от отметки уровня малой воды, официально признанной прибрежным государством, за пределами которого станции ESV могут работать без предварительного согласия любой администрации. В полосе 14,0–14,5 ГГц минимальное расстояние составляет 125 км от эталонной отметки уровня малой воды. Предварительное согласие возможно затронутой(ых) администрации(й) необходимо при работе на меньшем расстоянии.

Исследования, ранее проведенные в МСЭ-R, показали, что существенным фактором при определении минимального расстояния является максимальное значение э.и.и.м. в направлении горизонта, которая попадает в приемную систему ФС. В Резолюции 902 (ВКР-03) это выражается максимальным уровнем э.и.и.м. и максимальной плотностью э.и.и.м. в направлении горизонта. Эти значения э.и.и.м. в направлении горизонта основаны на максимальной мощности передачи станций ESV на входе антенны и усилении антенны в направлении горизонта.
