

Отчет МСЭ-R SM.2091***

Исследования влияния на радиоастрономическую службу активных космических служб, работающих на соседних или близлежащих частотах,

(2007)

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Введение..... | 5 |
| 2 | Методика..... | 5 |
| | 2.1 Общие положения | 5 |
| | 2.2 Подробное описание алгоритма (см. Рис. 1)..... | 8 |
| 3 | Анализ совместимости систем радиоастрономической службы (РАС), работающих в полосе частот 150,05–153,0 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 137–138 МГц..... | 17 |
| | 3.1 РАС..... | 17 |
| | 3.2 ПСС | 18 |
| | 3.3 Порог совместимости | 19 |
| | 3.4 Оценка помех | 19 |
| | 3.5 Способы уменьшения помех | 25 |
| 4 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 322–328,6 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 387–390 МГц..... | 26 |
| | 4.1 РАС..... | 26 |
| | 4.2 ПСС | 27 |
| | 4.3 Порог совместимости | 29 |
| | 4.4 Оценка помех | 29 |
| | 4.5 Способы уменьшения помех | 33 |

* Сирия сохранила за собой право не принимать ни одни из предложенных критерии защиты, содержащиеся в данном Отчете, как результат использования диапазонов частот, распределенных службам ФСС, РНСС, ПСС и РСС, в соседних полосах частот для радиоастрономической службы.

** Администрации Арабских стран, представленных на Ассамблее радиосвязи 2003 г., (АР-03), отметили, что они не принимают содержание Рекомендации МСЭ-R RA 769, на которую ссылается данный отчет.

| | | |
|-----|---|----|
| 5 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 406,1–410 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 400,15–401 МГц..... | 34 |
| 5.1 | РАС..... | 34 |
| 5.2 | ПСС..... | 34 |
| 5.3 | Порог совместимости..... | 35 |
| 5.4 | Оценка помех..... | 36 |
| 5.5 | Способы уменьшения помех..... | 42 |
| 6 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 608–614 МГц, и радиовещательной спутниковой службы (РСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 620–790 МГц..... | 43 |
| 6.1 | РАС..... | 43 |
| 6.2 | РСС..... | 44 |
| 6.3 | Порог совместимости..... | 46 |
| 6.4 | Оценка помех..... | 47 |
| 6.5 | Способы уменьшения помех..... | 50 |
| 7 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1400–1427 МГц и 1610,6–1613,8 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) со спутниками на негеостационарной орбите (космос-Земля), работающей в полосе частот 1525–1559 МГц..... | 51 |
| 7.1 | РАС..... | 51 |
| 7.2 | ПСС..... | 54 |
| 7.3 | Порог совместимости..... | 59 |
| 7.4 | Оценка помех..... | 59 |
| 7.5 | Способы уменьшения помех для РАС..... | 65 |
| 7.6 | Результаты исследований..... | 66 |
| 8 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1400–1427 МГц, и радиовещательной спутниковой службы (РСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 1452–1492 МГц..... | 66 |
| 8.1 | РАС..... | 66 |
| 8.2 | РСС..... | 69 |
| 8.3 | Порог совместимости..... | 69 |
| 8.4 | Оценка помех..... | 69 |
| 8.5 | Способы уменьшения помех..... | 72 |
| 8.6 | Результаты исследований..... | 73 |

Стр.

| | | |
|------|---|-----|
| 9 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1400–1427 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) со спутниками на геостационарной орбите (космос-Земля), работающей в полосе частот 1525–1559 МГц..... | 73 |
| 9.1 | РАС..... | 73 |
| 9.2 | ПСС..... | 75 |
| 9.3 | Порог совместимости..... | 76 |
| 9.4 | Оценка помех..... | 76 |
| 9.5 | Способы уменьшения помех..... | 77 |
| 9.6 | Результаты исследований..... | 78 |
| 10 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, и радионавигационной спутниковой службы (РНСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 1559–1610 МГц..... | 78 |
| 10.1 | РАС..... | 78 |
| 10.2 | РНСС..... | 80 |
| 10.3 | Порог совместимости..... | 92 |
| 10.4 | Оценка помех..... | 92 |
| 10.5 | Способы уменьшения помех..... | 99 |
| 10.6 | Результаты исследований..... | 100 |
| 11 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 1613,8–1 626,5 МГц..... | 101 |
| 11.1 | РАС..... | 101 |
| 11.2 | ПСС..... | 103 |
| 11.3 | Порог совместимости..... | 103 |
| 11.4 | Оценка помех..... | 103 |
| 11.5 | Способы уменьшения помех..... | 104 |
| 11.6 | Результаты исследований..... | 105 |
| 12 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) со спутниками на геостационарной орбите (космос-Земля), работающей в полосе частот 1525–1559 МГц..... | 106 |
| 12.1 | РАС..... | 106 |
| 12.2 | ПСС..... | 107 |
| 12.3 | Порог совместимости..... | 108 |
| 12.4 | Оценка помех..... | 109 |
| 12.5 | Способы уменьшения помех..... | 110 |
| 12.6 | Результаты исследований..... | 110 |

| | | |
|------|--|-----|
| 13 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 2690–2700 МГц и радиовещательной спутниковой (РСС) и фиксированной спутниковой (ФСС) служб (космос-Земля), работающих в полосе частот 2655–2690 МГц..... | 111 |
| 13.1 | РАС..... | 111 |
| 13.2 | Полоса частот активных служб..... | 113 |
| 13.3 | Порог совместимости..... | 114 |
| 13.4 | Оценка помех..... | 114 |
| 13.5 | Способы уменьшения помех..... | 116 |
| 13.6 | Результаты исследований..... | 117 |
| 14 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 10,6–10,7 ГГц и фиксированной спутниковой службы (ФСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 10,7–10,95 ГГц..... | 118 |
| 14.1 | РАС..... | 118 |
| 14.2 | ФСС..... | 119 |
| 14.3 | Порог совместимости..... | 119 |
| 14.4 | Оценка помех..... | 119 |
| 14.5 | Способы уменьшения помех..... | 127 |
| 14.6 | Результаты исследований..... | 129 |
| 15 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 22,21–22,5 ГГц и радиовещательной спутниковой службы (РСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 21,4–22 ГГц..... | 130 |
| 15.1 | РАС..... | 130 |
| 15.2 | РСС..... | 132 |
| 15.3 | Порог совместимости..... | 133 |
| 15.4 | Оценка помех..... | 133 |
| 15.5 | Способы уменьшения помех..... | 133 |
| 15.6 | Результаты исследований..... | 134 |
| 16 | Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 42,5–43,5 ГГц и радиовещательной спутниковой (РСС) и фиксированной спутниковой (ФСС) служб (космос-Земля), работающих в полосе частот 41,5–42,5 ГГц..... | 134 |
| 16.1 | РАС..... | 134 |
| 16.2 | ФСС и РСС..... | 138 |
| 16.3 | Порог совместимости..... | 140 |
| 16.4 | Оценка помех..... | 140 |
| 16.5 | Способы уменьшения помех..... | 141 |
| 16.6 | Результаты исследований..... | 144 |

1 Введение

Пассивная радиоастрономическая служба (РАС) изучает природные явления, создающие радиоизлучения на частотах, определенных физическими законами.

Частоты в полосах, являющихся соседними или близкими по отношению к частотам, распределенным для РАС, распределены на первичной основе различным космическим службам для работы в направлении Земля-космос, например, фиксированной спутниковой службе (ФСС), радионавигационной спутниковой службе (РНСС), подвижной службе спутниковой связи (ПСС) и радиовещательной спутниковой службе (РСС).

В исследованиях, представленных в данном техническом отчете, описана методика и структура для документирования результатов оценки помех между активными службами и службой РАС, работающими на соседних или близлежащих частотах. Методика основана на концепции эквивалентной плотности потока мощности (э.п.п.м.) для расчета помех, создаваемых нежелательными излучениями негеостационарных (не-ГСО) спутниковых систем.

В Таблице 1 приведен список диапазонов частот, рассматриваемых в данном исследовании. Результаты данных исследований содержатся в последующих разделах данного Отчета.

ТАБЛИЦА 1

Список исследований совместимости со службой РАС (пассивной)

| Диапазоны РАС | Диапазоны активных служб |
|---------------------|-------------------------------|
| 150,05–153,0 МГц | 137–138 МГц (не-ГСО ПСС)↓ |
| 322–328,6 МГц | 387–390 МГц (ПСС)↓ |
| 406,1–410 МГц | 400,15–401 МГц (не-ГСО ПСС)↓ |
| 608–614 МГц | 620–790 МГц (РСС) |
| 1 400–1 427 МГц | 1 452–1 492 (РСС) |
| 1 400–1 427 МГц | 1 525–1 559 МГц (ПСС)↓ |
| 1 610,6–1 613,8 МГц | 1 559–1 610 МГц (РНСС)↓ |
| 1 610,6–1 613,8 МГц | 1 613,8–1 626,5 МГц (ПСС)↓ |
| 1 610,6–1 613,8 МГц | 1 525–1 559 МГц (не-ГСО ПСС)↓ |
| 2 690–2 700 МГц | 2 655–2 690 МГц (РСС, ФСС)↓ |
| 10,6–10,7 ГГц | 10,7–10,95 ГГц (ФСС)↓ |
| 22,21–22,5 ГГц | 21,4–22 ГГц (РСС) |
| 42,5–43,5 ГГц | 41,5–42,5 ГГц (РСС, ФСС)↓ |

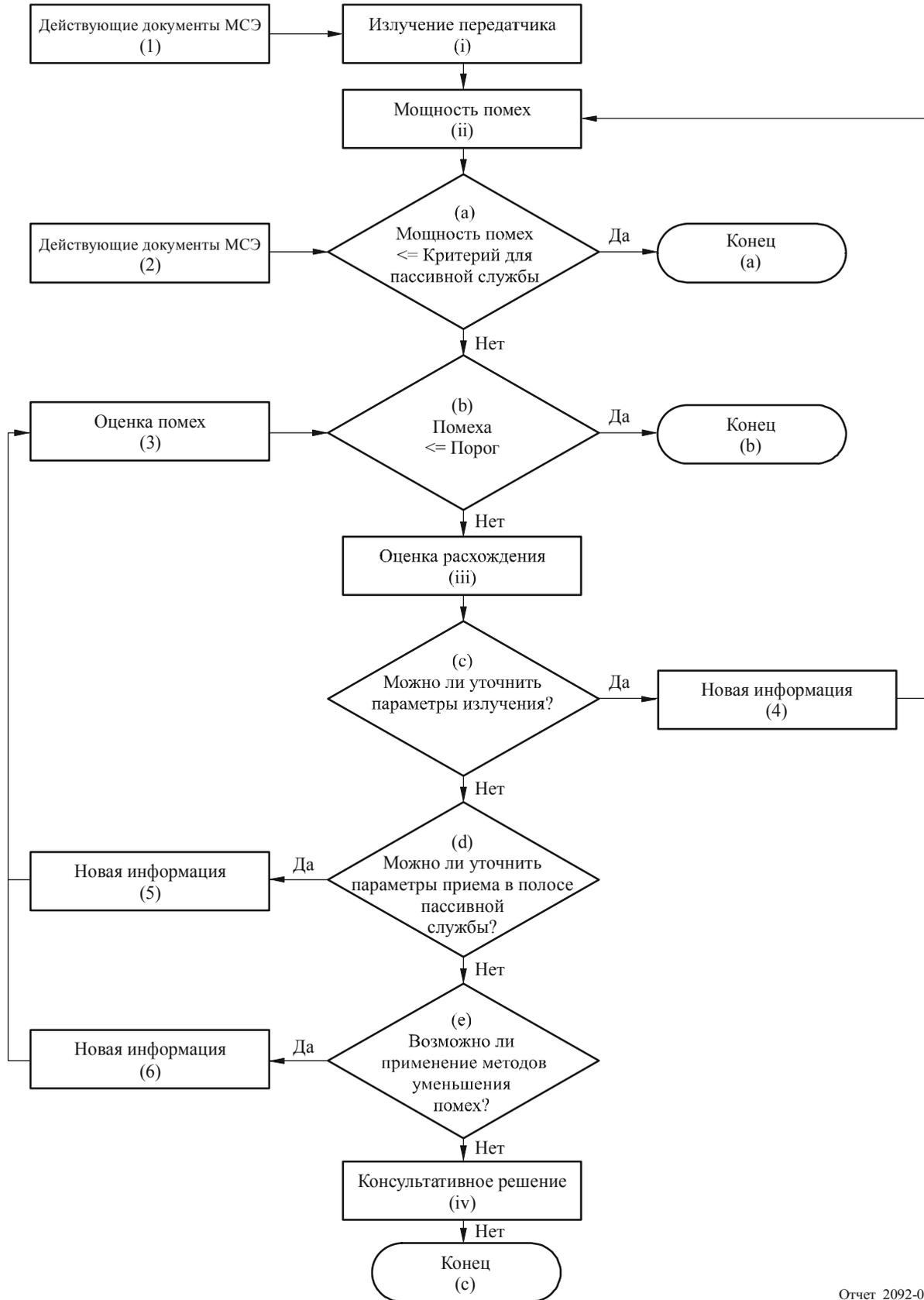
2 Методика

2.1 Общие положения

Приведенная далее общая методика определяет систематические средства для вычисления взаимоприемлемых критериев совместимости между операторами активных и пассивных служб, работающих в распределенных им полосах частот. Алгоритм (Рисунок 2-1) кратко излагает методику, каждый отдельный этап которой описан в п. 2.2 ниже. Поскольку эта процедура является итеративной, прежде чем будет найдено решение, может потребоваться несколько циклов.

РИСУНОК 1

Процесс оценки пассивных и активных служб, работающих в соседних и близких полосах частот



Первый шаг заключается в том, чтобы определить параметры передачи активной службы (блок (i)). Начальной точкой является сценарий наихудшего случая, который используется для определения того, имеется ли возможность создания вредных помех пассивным службам со стороны какого-либо или всех типов активных служб, работающих в соседней или близкой полосе частот. Этот уровень мощности для наихудшего случая часто можно определить на основании существующих регламентарных пределов (блок (1)), например, значений п.п.м., определенных в Статье 21 РР. Такие регламентарные пределы для мощности, передаваемой активной службой, затем должны использоваться для определения уровня нежелательных излучений в полосе пассивных служб для наихудшего случая (блок (ii)).

Следующий шаг заключается в том, чтобы определить, является ли этот уровень помех для наихудшего случая больше, чем порог помехового воздействия для пассивных служб в рассматриваемой полосе частот (ромб (a)). Эти пороговые уровни приведены в различных Рекомендациях МСЭ-R (блок (2)), например, в Рекомендациях -R RA.769 или -R RS.1029. Если этот порог помехового воздействия выше уровня нежелательных излучений в этой полосе для наихудшего случая, то вредного воздействия на работу пассивных служб не оказывается. В таком случае алгоритм выполняется по линии "Да" и процесс завершается. В этой точке, как и в других окончательных точках алгоритма, предположения, используемые для достижения этой точки, образуют техническую основу для рабочего соглашения о совместимости между затронутыми активными и пассивными службами. Каким образом использовать эти технические предположения и получаемые на их основе выводы, должен решать регулятор, и эта задача не входит в техническую область применения настоящей Рекомендации. Однако, для случая ромба (a), если оценка помех оказывается выше критериев для пассивной службы, то алгоритм должен последовать по ветке "Нет" к ромбу (b). При первой итерации нет никакой новой информации, поэтому путь продолжается до блока (iii). На последней итерации порог в ромбе (b) может отличаться от критерия для пассивной службы, использованного в ромбе (a), вследствие изменения дополнительных параметров распределения задачи. Эти измененные дополнительные параметры могут быть поучены как результаты на выходе ромбов (c), (d) или (e). Ромб (b) позволяет выполнить дальнейшую оценку того, достигнута ли совместимость.

Если она достигнута, то процесс далее выполняется по линии "Да", и процедура завершается. Если она не достигнута, то необходимо оценить расхождение, в процессе чего исследуются следующие возможности за счет прохождения ромбов (c), (d) или (e):

- уточнить параметры излучения активной службы, например, такие параметры реальной системы, как доступная выходная мощность, и т.д. и/или;
- уточнить параметры приема в полосе пассивной службы, и/или;
- разработать дополнительные методы подавления помех, как для активной, так и для пассивной служб, которые могут включать в себя оба варианта (a) и (b).

Если во время оценки расхождения, как показано в блоке (iii), окажется, что различие между этими двумя уровнями велико, то понятно, что предположения, использованные в первой итерации, являются недостаточными для решения вопроса, и необходимы более подробные данные о характеристиках и условиях работы обеих служб. Однако, если различие мало, то можно слегка изменить одно из первоначальных предположений таким образом, чтобы получить возможность найти решение на следующей итерации. Изучение имеющихся данных может привести к мысли о том, какие дополнительные предположения могут быть предпочтительными.

Исходя из этих соображений, в последующих итерациях могут быть пересмотрены один или несколько параметров активной службы, параметры пассивной службы, критерии совместимости или возможные методы уменьшения помех. Будет использовано столько итераций, сколько необходимо для того, чтобы либо полностью ликвидировать разрыв, либо исчерпать все возможные решения. Если все возможные решения исчерпаны, и совместная работа не представляется возможной, то метод завершается "консультативным решением". Это означает, что единственным возможным решением для конкретной активной системы являются консультации с оператором конкретной системы пассивной службы, для того, чтобы найти взаимное решение, если таковое возможно. Подробности такого консультативного решения выходят за рамки настоящей Рекомендации.

В такой методике рассматриваются возможные помехи только от отдельной активной службы, работающей в распределенной ей полосе частот. Поскольку ССИЗ (пассивная) может одновременно принимать помехи от нескольких служб, могут потребоваться дополнительные исследования, целью которых будет учет суммарного влияния нескольких активных служб.

2.2 Подробное описание алгоритма (см. Рисунок 1)

2.2.1 Блок (1): Действующие документы МСЭ

В настоящем блоке перечислены документы, которые могут иметь непосредственное отношение к определению излучения передатчика. Указанные далее Статьи Регламента радиосвязи (RR), Рекомендации и Отчеты МСЭ-R имеют непосредственное отношение к определению мощности передатчика, которая может попадать в полосы пассивных служб, и перечислены здесь для сведения. Эти правила и рекомендации должны использоваться в качестве начальной точки оценки возможных нежелательных излучений активной службы, попадающих в полосы пассивной службы.

Регламент Радиосвязи

Статьи 1, 5, 21, 22 и Приложение 3.

Рекомендации МСЭ-R

| | |
|---------------|--|
| МСЭ-R F.758 | Принципы разработки критериев совместного использования частот наземной фиксированной службой и другими службами |
| МСЭ-R F.1191 | Полосы и нежелательные излучения цифровых систем фиксированной службы |
| МСЭ-R SM.326 | Определение и измерение мощности радиопередатчиков с амплитудной модуляцией |
| МСЭ-R SM.328 | Спектры и ширина полосы излучений |
| МСЭ-R SM.329 | Нежелательные излучения в области побочных излучений |
| МСЭ-R SM.1446 | Определение и измерение продуктов интермодуляции в передатчике, использующем частотную, фазовую или комплексную модуляцию |
| МСЭ-R SM.1539 | Изменение границы между областью внеполосных излучений и областью побочных излучений, необходимое для применения Рекомендаций МСЭ-R SM.1541 и МСЭ-R SM.329 |
| МСЭ-R SM.1540 | Нежелательные излучения в области внеполосных излучений, попадающей в соседние распределенные полосы |
| МСЭ-R SM.1541 | Нежелательные излучения в области внеполосных излучений. |

Могут потребоваться данные, не приведенные в перечисленных Рекомендациях. Они включают в себя:

- рабочий цикл систем;
- географическое распределение и плотность передатчиков, включая плотность размещения;
- точка наведения антенны или диапазон сканирования для систем радиоопределения или передач Земля-космос;
- область обслуживания луча для передач космос-Земля;
- применяемые спектральные маски; и
- диаграммы направленности антенн.

Не все требуемые данные могут быть в наличии для всех вышеперечисленных пунктов. Для ряда параметров может потребоваться сделать некоторые предположения. Для другой информации, например, размещения, может потребоваться разработка моделей.

2.2.2 Блок (2): Действующие документы МСЭ

В данном блоке перечислены документы, которые могут иметь непосредственное отношение к выбору приемлемых критериев для защиты пассивной службы от помех. Различные критерии для пассивных служб, каждый из которых разработан рабочей группой, ответственной за соответствующую пассивную службу, являются исходными данными для ромба (а) на блок-схеме алгоритма. Эти Рекомендации разработаны в различное время с целью содействия другим рабочим группам, рассматривающим активные службы, в деле оценки возможности создания помех пассивным службам со стороны соответствующих служб. Список Рекомендаций, которые следует учитывать, включает следующие:

Рекомендации МСЭ-R

| | |
|---------------|--|
| МСЭ-R RA.769 | Критерии защиты, используемые для радиоастрономических измерений |
| МСЭ-R RA.1513 | Уровни потери данных в радиоастрономических наблюдениях и критерии процента времени, являющихся результатом ухудшения из-за помех в полосах частот, распределенных радиоастрономии на первичной основе |
| МСЭ-R RS.1028 | Критерии качества для дистанционного спутникового пассивного зондирования |
| МСЭ-R RS.1029 | Критерии помех для дистанционного спутникового пассивного зондирования. |

2.2.3 Блок (3): Оценка помех

Функция данного блока состоит в том, чтобы дать возможность пассивной службе сформировать новый критерий совместного использования частот на основе данных, полученных от блоков (5) и (6). Например, можно предположить, что уровни боковых лепестков ниже, чем значение 0 дБи, которое в настоящее время принято для коэффициента усиления приемной антенны радиоастрономической службы (РАС). В таком случае, в блоке (3) выполняется пересчет критерия совместного использования частот.

Для оценки помех от негеостационарных (не-ГСО) систем ФСС станциям РАС, следует использовать методику, описанную в Рекомендации МСЭ-R S.1586. Аналогично, для оценки помех от не-ГСО систем ПСС и радионавигационной спутниковой службы (РНСС) станциям РАС, следует использовать методику, описанную в Рекомендации МСЭ-R M.1583.

2.2.4 Блоки (4), (5) и (6): Новая информация

Функция данного блока состоит в том, чтобы собирать новую информацию, включаемую в исследование совместного использования частот, когда оно выполняется посредством множества итераций. Примером такой ситуации может быть применение в блоке (4) информации из Приложения 4 РР, представленной в Бюро радиосвязи (БР), для того, чтобы оправдать использование уровней внутриполосной п.п.м., меньших, чем цифры, установленные в Регламенте. Другая информация может состоять из данных о фильтре или антенне в любом из блоков (4), (5) и (6), которая включается в процесс для того, чтобы ликвидировать разрыв. Новая информация может также включать в себя дополнительные исходные данные, не рассмотренные ранее, например, конкретные Рекомендации МСЭ-R, региональные Рекомендации или региональные стандарты. Далее приведены примеры соответствующих блоков.

Блок (4)

На высоких частотах диаграммы направленности передающих антенн могут иметь значительно более узкие лучи для того, чтобы максимизировать мощность в ограниченной области обслуживания и, следовательно, повысить пропускную способность и преодолеть влияние атмосферы. В результате на большей части земной поверхности можно принимать уровень п.п.м. нежелательных излучений, который намного ниже уровня вредных помех для пассивной службы. Вместо того чтобы иметь приемлемый уровень на всей земной поверхности, можно снизить уровень на части земной поверхности. В результате вероятность того, что станция РАС будет принимать вредные помехи с конкретного направления, становится очень маленькой.

В полосе частот 40–42,5 ГГц параметры, которые могут быть использованы в исследованиях для этой полосы, содержатся в Рекомендации МСЭ-R S.1557 "Эксплуатационные требования и характеристики систем фиксированной спутниковой службы, работающих в полосах 50/40 ГГц, предназначенные для использования в исследованиях совместного использования частот фиксированной спутниковой службой и фиксированной службой".

Блок (5)

Такие характеристики, как диаграммы направленности приемных антенн для конкретной полосы частот, это характеристики, которые могут применяться для уменьшения различий между уровнем вредных помех для пассивной службы и уровнем принимаемых нежелательных излучений.

Блок (6)

Многие методы уменьшения помех, которые могут минимизировать воздействие активной службы на пассивную службу, перечислены в Рекомендации МСЭ-R SM.1542. В каждом конкретном случае для рассматриваемой ситуации могут применяться только некоторые из перечисленных методов уменьшения помех. При использовании определенных методов уменьшения помех, зачастую, может потребоваться определить, как будет разделена ответственность, являющаяся результатом их применения.

2.2.5 Блок (i): Излучение передатчика

Целью данного блока является определение внутриполосной плотности передаваемой мощности на входе антенны.

2.2.5.1 Общий случай

В общем случае эта величина может быть получена из выражения:

$$P_{density} = e.i.r.p.density - G_t \quad (1)$$

где:

- $P_{density}$: плотность мощности, подводимой к передающей антенне (дБ(Вт/Гц))
- $e.i.r.p.density$: плотность передаваемой э.и.и.м. (дБ(Вт/Гц))
- G_t : усиление антенны передатчика (дБи).

Плотность передаваемой мощности можно также вычислить по формуле:

$$P_{density} = 10 \log(p_t) - OBO - 10 \log(BW_{nb}) - L_c \quad (2)$$

где:

- p_t : номинальная мощность усилителя передатчика (Вт)
- OBO : выходное снижение мощности (дБ)
- BW_{nb} : необходимая ширина полосы (Гц)
- L_c : затухание в цепи между усилителем передатчика и передающей антенной (дБ).

Следует отметить, что в уравнении (2) предполагается, что плотность передаваемой мощности равномерно распределена по необходимой ширине полосы. Если это предположение ошибочно, то может быть введена корректировка путем соответствующего изменения ширины полосы.

2.2.5.2 Внутриполосный уровень передаваемой мощности спутника на основе таблицы 21–4 Регламента радиосвязи

Рассчитать плотность передаваемой мощности из значений пределов п.п.м., затем:

$$P_{density} = pdf + 10 \log(4\pi d^2) - G_t + L_c \quad (3)$$

где:

- pdf : плотность потока мощности на линии вниз (дБ(Вт/(м² · МГц)))
- d : наклонная трасса от спутника до земной станции (км)

G_t : усиление передающей антенны (дБи)

L_c : затухание в цепи между усилителем передатчика и передающей антенной (дБ).

Если используются эти значения, то в результате получается максимально возможный уровень излучения передатчика, который во многих случаях не реалистичен. Это происходит потому, что не учитываются различные факторы, например, спад усиления реальной передающей антенны и форма спектра сигнала. При выполнении вышеописанных вычислений следует учитывать, что усиление передающей антенны зависит от каждой системы и ее применений. Как правило, усиление передающей спутниковой антенны меняется следующим образом:

- для не-GSO систем ПСС усиление меняется в диапазоне от 17 дБи до 31 дБи, в зависимости от высоты спутников и углов места;
- для GSO систем ПСС усиление меняется в диапазоне от 41 дБи до 45 дБи;
- для ФСС усиление спутниковой антенны существующих систем диапазонов 4/6 ГГц и 12/14 ГГц, меняется в диапазоне от 20 дБи до 42 дБи. Однако усиление антенн будущих спутниковых систем диапазонов 4/6 ГГц и 12/14 ГГц может быть существенно больше, чем у существующих систем; и
- для спутниковых систем ФСС диапазонов 20/30 ГГц и 40/50 ГГц усиление передающей спутниковой антенны, усиление передающей антенны спутника лежит в диапазоне от 44 дБи до 60 дБи.

2.2.5.3 Плотность мощности, исходя из суммарной РЧ мощности космической станции

Расчет плотности передаваемой э.и.и.м. зависит от передаваемой спутником суммарной РЧ мощности, затухания в линии между усилителем мощности передатчика передающей антенной, усиления передающей антенны, схемы многократного использования частот, присвоенной полосы частот, количества лучей и т.д. Среднюю плотность передаваемой э.и.и.м. можно рассчитать следующим образом:

$$P_{density} = 10 \log(P_{total}) - 10 \log(N_{beam}) - 10 \log\left(\frac{BW_{as}}{N_{freq}}\right) - OBO \quad (4)$$

где:

P_{total} : суммарная передаваемая РЧ мощность (Вт)

N_{beam} : количество лучей

BW_{as} : присвоенная полоса частот (Гц)

Например, 500 МГц для диапазона 4/6 ГГц; 1 000 МГц для диапазона 12/14 ГГц, и т.д.

N_{freq} : схема многократного использования частот

OBO : выходное снижение мощности (дБ).

2.2.5.4 Плотность мощности по данным, приведенных в формах МСЭ на спутники

Плотность мощности, передаваемой спутником, можно рассчитать непосредственно из форм, приведенных в Приложении 4 к РР.

2.2.6 Блок (ii): Мощность помех

Целью данного этапа является расчет уровня нежелательных излучений, принимаемых пассивной службой, исходя из внутрислужбовой п.п.м., определенной в блоке (i). Способ получения этой оценки будет изменяться в зависимости от характеристик передающей службы и характеристик пассивной службы, принимающей помехи. Возможные помехи пассивной службе из-за нежелательных излучений систем активной службы можно рассчитать на основе следующего:

$$pdf_{(unwanted\ emissions)} = pdf_{in-band_active} - OoB - L \quad (5)$$

где:

- $pdf_{(unwanted\ emissions)}$: уровень плотности потока мощности в точках приема РАС
- $pdf_{in-band_active}$: внутрисполосные уровни п.п.м. систем активной службы. В расчетах могут использоваться максимально допустимые пределы п.п.м., приведенные в таблице 21–4 РР. В некоторых случаях нет никаких пределов п.п.м. на линии вниз, и могут использоваться максимальные пределы п.п.м. на линии вниз активной системы
- OoB : маска подавления внеполосных излучений, например, основанная на Рекомендации -R SM.1541
- L : ослабление в атмосферных газах и потери из-за сцинтилляции (Рекомендация МСЭ-R P.676 "Ослабление в атмосферных газах")

В п. 1.153 РР и в Рекомендации МСЭ-R SM.1541 предложены методы для определения излучений активных служб в области внеполосных излучений (OoB). По Рекомендации МСЭ-R SM.1541 область OoB определяется путем применения Рекомендации МСЭ-R SM.1539. Для расчета уровней нежелательных излучений от активных служб, появляющихся в области побочных излучений, используется Рекомендация МСЭ-R SM.329.

2.2.6.1 Приемник ССИЗ

Служба ССИЗ очень чувствительна к помехам от наземных передатчиков, включая отдельные передатчики с высоким уровнями и суммарные излучения и плотно размещенные передатчики с низкими уровнями мощности. Передатчики космического базирования могут увеличить энергию, принимаемую датчиком, за счет попадания в главный луч антенны сигнала, отраженного от Земли, или непосредственно через боковые или задние лепестки диаграммы антенны.

Для оценки итоговой мощности от активных систем на приемнике ССИЗ требуются следующие исходные данные:

- усиление системы ССИЗ;
- характеристики направленности системы ССИЗ;
- высота системы ССИЗ; и
- поглощение в атмосфере.

2.2.6.1.1 Географическая плотность передатчиков

Системы, развернутые на поверхности Земли, во время периода измерений датчика являются неподвижными. Вероятность помех возрастает, когда в главном луче антенны датчика оказывается несколько передатчиков. Информация, необходимая для оценки мощности, принимаемой от активных систем, развернутых в ячейке ССИЗ, включает:

- размер ячейки ССИЗ;
- число терминалов, которые должны быть развернуты в ячейке такого размера, одновременно использующих одну и ту же частоту;
- приближенное значение усиления наземных систем в направлении на спутник ССИЗ. В Рекомендации МСЭ-R F.1245 приводится диаграмма направленности антенны для систем ФС из-пункта-в-пункт (П-П), а в Рекомендации МСЭ-R F.1336 приводятся эталонные диаграммы направленности для систем из-пункта-во-множество-пунктов (П-МП). Поскольку терминалы ФС направлены в направлении, близком к горизонту, вероятность того, что система ФС будет направлена точно в главный луч спутниковой антенны, ССИЗ очень мала. В качестве подхода для первого шага, среднее усиление систем ФС в направлении на спутник ССИЗ, которое будет использовано при расчетах суммарной мощности, принимаемой на спутнике ССИЗ, можно аппроксимировать, принимая для каждого терминала ФС значение усиления, рассчитанное для внеосевого угла 90°.

Для случая систем ФС следует учитывать следующие параметры:

- распределение каналов (если имеется) как подход на первом этапе (исследуем каналы "самые близкие" к диапазону ССИЗ);
- в Рекомендации МСЭ-R F.1191 сказано, что для цифровых систем ФС следует предполагать, что необходимая ширина полосы частот имеет то же значение, что и занимаемая полоса частот, и что мощность ФС за пределами занимаемой полосы частот (выше и ниже) не должна превышать 0,5% от суммарной средней мощности данного излучения (п. 1.153 Регламента радиосвязи). Суммарные значения средней мощности приведены в Рекомендации МСЭ-R F.758.

2.2.6.1.2 Передатчик, направленный на датчики

В некоторых случаях отдельные передатчики могут создавать помехи измерениям, когда датчик оказывается в главном лепестке наземной станции. Следующая информация необходима для оценки мощности, принимаемой от активных систем:

- усиление передатчика в направлении на ССИЗ; и
- трасса распространения сигнала.

2.2.6.1.3 Спутниковые линии вниз

В некоторых случаях помехи возможны из-за воздействия сигналов, отраженных от поверхности Земли, которые могут попадать в главный луч космической станции. Для оценки мощности, принимаемой от активной системы, необходима следующая информация:

- коэффициент отражения почвы или водоема;
- усиление космической системы в направлении на Землю;
- высота космической системы или п.п.м. на поверхности Земли.

2.2.6.2 Приемник РАС

2.2.6.2.1 Нежелательные излучения от фиксированной службы

Ожидаются возможные помехи от станций систем на высотных платформах (HAPS) службе РАС. В Рекомендации МСЭ-R SM.1542 не определено никаких иных проблем, связанных с наземными источниками помех в полосах радиоастрономии.

2.2.6.2.2 Нежелательные излучения от космических систем

Мощность помех, попадающих на станцию РАС, приходит от линий вниз спутниковых служб ГСО или не-ГСО. В первом случае помехи, как правило, не будет меняться ни по местоположению, ни во времени. Во втором случае мощность помех будет меняться как во времени, так и в зависимости от местоположения спутника на небе. В результате оба случая рассматриваются по отдельности.

2.2.6.2.2.1 Нежелательные излучения от ГСО спутниковых систем (линия вниз)

Мощность п.п.м. нежелательных излучений может вычисляться по формуле:

$$pdf_{unwanted\ emission} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM(f)} df \quad (6)$$

где:

- $pdf_{unwanted\ emissions}$: п.п.м. на станции РАС (Вт/м²)
- f_1, f_2 : нижняя и верхняя границы, соответственно, полосы приемника РАС (Гц)
- $p(f)$: мощность нежелательных излучений на входе передающей антенны (Вт)

$g(f)$: усиление передающей антенны в направлении на радиоастрономическую станцию

SL : потери на расходимость луча (дБ)

$ATM(f)$: поглощение в атмосфере в полосе частот f_1-f_2 как функция от частоты.

Следует заметить, что плотность мощности переданного сигнала, усиление антенной подсистемы и поглощение в атмосфере меняются с изменением частоты и потому представлены в виде функций от частоты. Плотность потока мощности (п.п.м.) нежелательных излучений в месте размещения станции РАС является интегралом данных функций, как показано выше, по полосе пропускания приемника. В случаях, когда плотность мощности нежелательного излучения, усиление антенны и поглощение в атмосфере имеют постоянные значения по всей ширине полосы приемника пассивной службы, функция может быть упрощена следующим образом:

$$pfd_{unwanted\ emission} = \frac{P \cdot g}{SL \cdot ATM} (f_2 - f_1) \quad (7)$$

В тех случаях, когда полоса активной службы является соседней по отношению к полосе пассивной службы, можно предположить, что усиление передающей антенны остается постоянным и в полосе передачи, и в полосе пассивной службы. Однако зачастую это может быть совсем не так, в частности, когда полоса пассивной службы расположена ниже частоты среза волноводной фидерной сети в антенной подсистеме.

2.2.6.2.2.2 Нежелательные излучения от не-ГСО спутниковых систем (линия вниз)

Для оценки помех от не-ГСО систем ФСС станциям РАС следует использовать методику, описанную в Рекомендации МСЭ-R S.1586. Аналогично, для оценки помех от не-ГСО систем ПСС и РНСС станциям РАС следует использовать методику, описанную в Рекомендации МСЭ-R M.1583.

2.2.7 Блок (iii): Оценка расхождения

Целью данного блока является обеспечение пересмотра исходных данных и расхождения до выполнения следующего этапа методики. Если алгоритм дошел до этого блока, значит принимаемые помехи превышают порог, что означает необходимость внесения изменений на следующей итерации, с тем чтобы сократить разрыв между этими двумя цифрами.

В первых итерациях цикла внимание следует сосредоточить на повышении точности оценки помех пассивной службе. Поскольку предварительные исследования возможности совместного использования включают в себя грубые предположения относительно обеих систем, они должны быть уточнены, для того чтобы иметь возможность соответствующим образом оценить возможность помех. Более подробные описания системы и методики расчетов могут потребовать расчетов большей вычислительной сложности, но, в итоге, может быть обнаружено, что возможность помех значительно ниже, чем указанные ранее грубые предположения.

Если исследование представляется достаточно точным, но разрыв все еще остается, то для прояснения проблемы потребуется наложить ограничения для одного либо для обоих случаев. Такими ограничениями могут быть эксплуатационные ограничения характеристик оборудования или критерии совместного использования.

Если в этом блоке определены возможные области изменений на следующем шаге, то соответствующий блок принятия решения выполнит изменение и приступит к новой оценке помех.

2.2.8 Блок (iv): Консультативное решение

Разрыв между активной и пассивной службами может сохраняться и после нескольких итераций данной методики. Если ни один из параметров системы, критериев или методов уменьшения помех более изменить невозможно, значит общего решения, которое позволило бы всем пользователям полосы активной службы использовать ее совместно с пользователями полосы пассивной службы, не существует.

Единственным оставшимся решением, которое может быть применено, является начало переговоров между пользователями отдельных участков полос активной и пассивной служб с целью возможного достижения соглашения между ними. Например, между двумя соседними полосами может оказаться невозможным найти решение для ФСС и РАС. Однако найти решение для не-ГСО ФСС и РАС может оказаться вполне возможным.

Методика, показанная на рисунке 2–1, может быть полезной при ведении переговоров между операторами, совместно использующими эту полосу.

Однако если небольшая консультативная группа не может достичь соглашения, тогда методика достигает своего конца без устранения разрыва. Полученный прогресс в выполнении различных итераций методики может оказаться полезным для сокращения разрыва и прогнозирования будущих областей для исследований. Он может также служить основой для создания многочисленных решений, которые могут быть предложены регулятору для выбора.

2.2.9 Ромб (а): Мощность помех \leq критериев для пассивной службы

Мощность помех, оцененная в блоке (ii), сравнивается с соответствующими критериями защиты пассивной службы из блока (2). Если помехи превышают определенный уровень, то методика переходит к ромбу решения (b). Этот путь завершается, если помехи меньше или равны этим критериям.

2.2.10 Ромб (b): Мощность помех \leq порога

На следующей итерации порог в ромбе (b) может указывать эксплуатационные правила, которые обеспечивают требуемую защиту для пассивной службы, и при этом возможно минимизируя ограничения, накладываемые на активную службу. Используемые параметры могут быть получены в результате выполнения процедуры в ромбах (c), (d) или (e). Бремя, накладываемое в соответствии с этим соглашением, должно быть равномерно распределено между двумя службами. В случае, когда имеется несколько мешающих активных служб, процедура данной итерации должна быть выполнена для каждой отдельной службы, возможно, приводя к получению для каждой из них различных эксплуатационных правил. Руководящий принцип таков – суммарное бремя, накладываемое на все участвующие стороны, не должно приводить к тому, чтобы какая-либо из сторон потеряла возможность эффективной работы.

2.2.11 Ромб (c): Можно ли уточнить параметры излучения?

После пересмотра, выполненного в блоке (iii), может оказаться возможным изменить параметры излучения активной службы. Например, для планирования будущих систем регламентарные пределы, используемые в качестве низких уровней, которые более представительны для текущего момента, могут заменить предположения для наихудшего случая. Затем эти измененные предположения могут быть учтены на последующих итерациях.

2.2.12 Ромб (d): Можно ли уточнить параметры приема в полосе пассивных служб?

После пересмотра, выполненного в блоке (iii), может оказаться возможным изменить параметры приема пассивной службы. Например, могут использоваться реальные диаграммы направленности антенн вместо более консервативных эталонных диаграмм. Затем эти измененные предположения могут быть учтены на последующих итерациях.

2.2.13 Ромб (e): Возможно ли применение методов подавления помех?

Если параметры активной и пассивной служб более уточнить невозможно, но все еще сохраняется разрыв между помехой и порогом совместного использования, то в качестве средства сокращения разрыва могут быть рассмотрены методы уменьшения помех. В настоящий раздел включено три возможных метода, хотя существуют и дополнительные методы, например, перечень в приложении 3 к Рекомендации МСЭ-R SM.1542.

2.2.13.1 Активная система

2.2.13.1.1 Фильтрация в активной системе

Одним из методов защиты пассивных служб является введение дополнительной фильтрации в РЧ цепи передатчика для уменьшения уровня нежелательных излучений. В некоторых случаях это может наложить минимальное бремя, поскольку архитектура передатчика допускает введение фильтра или улучшение существующего фильтра. Однако в некоторых случаях, на применимость фильтров может оказать влияние вопрос цены, веса и/или уменьшение пропускной способности.

2.2.13.1.2 Использование защитных интервалов

Одним из методов уменьшения уровня нежелательных излучений передатчика активной службы в полосе пассивной службы является введение защитных интервалов. Защитный интервал позволяет снизить мощность помех, принимаемых оператором пассивной службы. Хотя этот метод может быть эффективным, когда системы работают в соседних полосах, его ценность незначительна, когда расстояние между полосами велико, поскольку дополнительная ширина полосы может не внести каких-либо заметных улучшений в ослабление фильтра. Более того, введение защитных интервалов сужает полосу частот, доступную для одной или обеих служб.

Для того чтобы оценить влияние защитных интервалов следует выполнить следующие вычисления. Мощность помех (Вт), принимаемых пассивной службой, имеет вид:

$$I = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g_1(f) \cdot g_2(f) \cdot |h(f)|^2}{FSL \cdot ATM(f)} df \quad (8)$$

где:

- I : мощность помех, принимаемых приемником пассивной службы в пределах своей полосы приема (Вт/м²)
- f_1, f_2 : нижняя и верхняя границы соответственно полосы приемника пассивной службы (Гц)
- $p(f)$: плотность мощности нежелательных излучений как функция от частоты на входе передающей антенны (Вт/Гц)
- $g_1(f)$: усиление передающей антенны как функция от частоты в направлении на антенну пассивной службы
- $g_2(f)$: усиление антенны пассивной службы как функция от частоты в направлении на передающую антенну
- FSL : потери в свободном пространстве (м²)
- $ATM(f)$: поглощение в атмосфере в данной полосе частот как функция от частоты
- $h(f)$: функции передачи приемных фильтров пассивной службы.

Использование защитных интервалов предполагает сдвиг амплитудно-частотных характеристик и приемника, и передатчика. В результате сдвига по частоте некоторые характеристики могут изменить форму, для того чтобы охватить доступную полосу частот.

2.2.13.1.3 Применение географической изоляции

Еще одним методом исключения вредных помех является обеспечение такого положения дел, при котором станция пассивной службы наземного базирования достаточно удалена от основного направления излучения передатчика активной службы. Если станции пассивной службы наземного базирования располагаются в областях, которые удалены от области обслуживания космической станции, тогда помехи минимизируются. Более того, если число станций пассивной службы наземного базирования невелико и места их размещения хорошо известны, то разработчик космической станции должен иметь возможность направить лучи таким образом, чтобы не затрагивать станции пассивной службы наземного базирования.

2.2.13.2 Пассивная система

См. Рекомендацию МСЭ-R SM.1542.

2.2.14 Оконечные окружности (a), (b), (c)

Конец (a): Методика, которая завершается в этой точке, определила, что показана совместимость между исходными параметрами пассивной службы и исходными параметрами активной службы. Вероятным результатом в этой точке будет решение о том, что никаких изменений не требуется и проанализированные исходные параметры принадлежат совместимым системам.

Конец (b): Методика, которая завершается в этой точке, определила, что показана совместимость между исходными или уточненными параметрами пассивной службы и исходными или уточненными параметрами активной службы, или вследствие применения других методов уменьшения помех.

Конец (c): Методика, которая завершается в этой точке, определила, что совместимость не может быть показана ни с исходными, ни с уточненными параметрами служб. Необходимо, чтобы администрации, оплачивающие конкретные системы начали переговоры относительно этих систем.

3 Анализ совместимости систем радиоастрономической службы (РАС), работающих в полосе частот 150,05–153,0 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 137–138 МГц

3.1 РАС

3.1.1 Распределенная полоса частот

В Районе 1 полоса частот 150,05–153,0 МГц распределена на первичной основе фиксированной службе, подвижной службе (кроме воздушной подвижной) и РАС. Кроме того, в соответствии с п. 5.225 РР в Австралии и Индии данная полоса частот распределена радиоастрономической службе на первичной основе.

П.5.149 РР призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех.

3.1.2 Тип наблюдений

Данная полоса частот используется для непрерывных (широкополосных) наблюдений.

Требуется обеспечить наличие необходимого участка спектра для непрерывных наблюдений источников космических радиоизлучений. Учитывая октавный разнос, необходимый для покрытия диапазона, требуемый участок спектра находится точно посередине между полосами частот 73–74,6 МГц и 322–328,6 МГц, которые также используются радиоастрономической службой для этих целей. Также он используется для наблюдения за солнцем и для наблюдений за быстрыми, периодическими излучениями пульсаров.

3.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех для радиоастрономических наблюдений приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Это пороговые уровни, ниже которых радиоастрономические данные ухудшаются и, в конечном счете, могут быть потеряны совсем. В принципе, в идеальных условиях, если данные уровни превышаются незначительно, то эти потери можно компенсировать в радиоастрономической обсерватории за счет увеличения времени наблюдений. Если это делается, то пропускная способность канала телескопа уменьшается, и, соответственно уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., уровень помех на 10 дБ или более превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не даст эффекта в плане получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

Для непрерывных наблюдений, как правило, используется вся полоса частот 150,05–153,0 МГц шириной 2,95 МГц. Пороговая величина п.п.м. для вредных помех наблюдениям с одной параболической антенной составляет –194 дБ(Вт/м²).

3.1.4 Эксплуатационные характеристики

Как правило, непрерывные наблюдения выполняются по-разному, может быть отображена область неба, окружающая космический источник радиоизлучений, и удалено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

3.2 ПСС

3.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Полосы частот 137–137,025 МГц и 137,175–137,825 МГц во всех Районах распределены службе ПСС (космос-Земля) на первичной основе. Полосы частот 137,025–137,175 МГц и 137,825–138 МГц во всех Районах распределены службе ПСС на вторичной основе.

В данной полосе частот для службы ПСС применяются пп. 5.208А и 5.209 Регламента радиосвязи.

В п. 5.208А Регламента радиосвязи сказано, что "При присвоении частот космическим станциям подвижной спутниковой службы в полосах 137–138 МГц, 387–390 МГц и 400,15–401 МГц администрации должны принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы в полосах 150,05–153 МГц, 322–328,6 МГц, 406,1–410 МГц и 608–614 МГц от вредных помех со стороны нежелательных излучений. Пороговые уровни помех, недопустимых для радиоастрономической службы, приведены в Таблице 1 Рекомендации МСЭ-R RA.769–1. (ВКР-97)".

В п. 5.209 Регламента радиосвязи сказано, что "Использование полос 137–138 МГц, 148–150,05 МГц, 399,9–400,05 МГц, 400,15–401 МГц, 454–456 МГц и 459–460 МГц подвижной спутниковой службой ограничено негеостационарными спутниковыми системами. (ВКР-97)".

3.2.2 Применение

Негеостационарные системы ПСС, работающие на частотах ниже 1 ГГц, способны передавать цифровые пакеты данных на низких скоростях (от 2,8 до 19,2 кбит/с). Данные системы обеспечивают высококачественный беспроводный обмен данными. Низкие частоты (ниже 1 ГГц) и низкая околоземная орбита предполагают использование небольших, маломощных земных станций и спутников и, соответственно, низкую стоимость реализации системы. Сети спроектированы таким образом, чтобы они могли покрыть весь Земной шар или большую его часть, некоторые системы не обеспечивают полного покрытия полярных областей. Как правило, данные системы ПСС работают в режиме почти реального времени, когда один и тот же спутник имеет контакт и с абонентской станцией, и со станцией фидерной линии. Однако системы могут также работать в режиме хранения с последующей передачей, когда абонентские станции и станции фидерных линий не находятся в пределах зоны покрытия одного спутника, например, когда пользователь находится в открытом море. В данном режиме система работает с задержкой по времени, которая может длиться от нескольких секунд до нескольких часов, в зависимости от следующего прохождения над станцией фидерной линии.

3.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

В данной полосе частот к службе ПСС не применяется строгих ограничений.

3.2.4 Эксплуатационные характеристики

В Рекомендации МСЭ-R M.1184 описываются технические и эксплуатационные характеристики четырех негеостационарных систем ПСС, которые используют или планируют использовать данную полосу частот либо для служебной связи, либо для линий вниз к шлюзам. Это системы L, M, P и Q. Орбитальные характеристики реальной системы Q отличаются от тех, что приведены в той Рекомендации. Реальные характеристики приведены в Таблице 2 вместе с характеристиками систем L, M и P.

ТАБЛИЦА 2

Орбитальные параметры негеостационарных систем ПСС, работающих на частотах ниже 1 ГГц

| Система | L | M | | | P | Q | |
|---|------------------------------------|-------------|---|---------|------|-----------------|-------|
| Количество спутников | 48 | | | | 6 | 26 | |
| Высота (км) | 950 | 825 | | 775 | 893 | 1 000 | |
| Наклон (градусы) | 50 | 45 | 0 | 70, 108 | 99 | 66 | 83 |
| Орбитальные плоскости | 8 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| Спутник/плоскость | 6 | 8 | | | 3 | 6 | 1 |
| Прямое восхождение восходящего узла (градусы) | 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 | 0, 120, 240 | 0 | 0, 180 | 9,8 | 0, 90, 180, 270 | 0, 90 |
| Мощность излучения на линии вниз (Вт) | 25 | 18,2 | | | 1 | 32 | |
| Э.и.и.м. на линии вниз (дБВт) | 19,7 | 13,6 | | | 3,8 | 17,8 | |
| Необходимая полоса пропускания (кГц) | 25 | 25 | | | 855 | 25 | |
| П.п.м. в полосе частот ПСС (дБ(Вт/м ²)) | -111 | -115 | | | -126 | -113 | |

3.3 Порог совместимости

Для негеостационарных группировок для полосы частот 150,05–153 МГц пороговый уровень э.п.п.м., равный -238 (дБ(Вт/м²)), может быть получен из указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.769 порогового уровня помех, вредных для радиоастрономических наблюдений, и максимального усиления радиоастрономической антенны, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.1631, которое равно 44 дБи для данной полосы частот.

3.4 Оценка помех**3.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех**

В Рекомендации МСЭ-R M.1583 представлена методика вычисления уровня нежелательных излучений для радиоастрономических станций, создаваемых негеостационарной системой. Она основана на разделении неба на участки с примерно равными телесными углами и на статистическом анализе, где линия визирования антенны РАС и стартовое время спутниковых группировок являются случайными переменными. Для каждого измерения уровень нежелательных излучений, выраженный в э.п.п.м., усреднен по периоду 2000 с.

Выбранные характеристики РАС соответствуют радиотелескопу Effelsberg в Германии, который может вести наблюдения в рассматриваемой полосе частот, имеющему диаметр антенны, равный 100 м, и максимальное усиление примерно в 44 дБи. Диаграмма направленности антенны и максимальное усиление антенны взяты из Рекомендации МСЭ-R RA.1631.

Географические координаты станции Effelsberg:

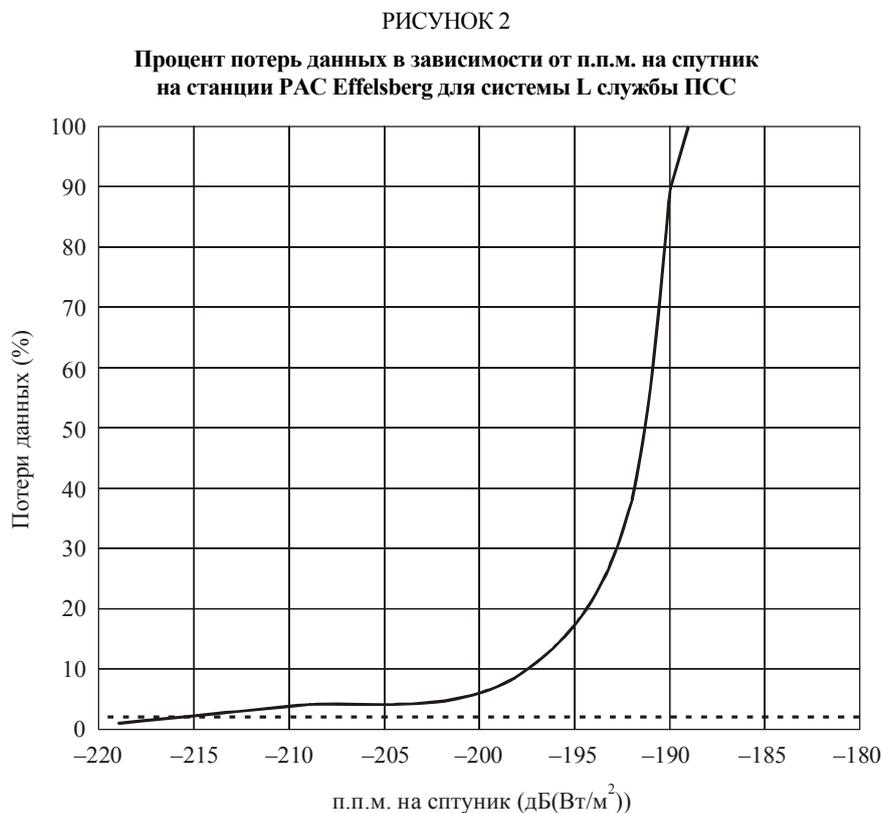
Широта: 50,7° с.ш. Долгота: 7,0° в.д.

С целью получения наиболее общих результатов, моделирование было проведено со значением угла места антенны РАС, равным 0°.

3.4.2 Вычисление уровня помех

3.4.2.1 Система L службы ПСС

На Рисунке 2 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник ПСС, как объясняется в Рекомендации МСЭ-R RA.1513, превышение данного уровня равнозначно потере данных.



Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы L службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -216 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 3 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м. для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -216 дБ(Вт/м²).

На Рисунках. 3, 5, 7 и 9 азимут 0° направлен к северу и увеличивается с запада на восток.

3.4.2.2 Система M службы ПСС

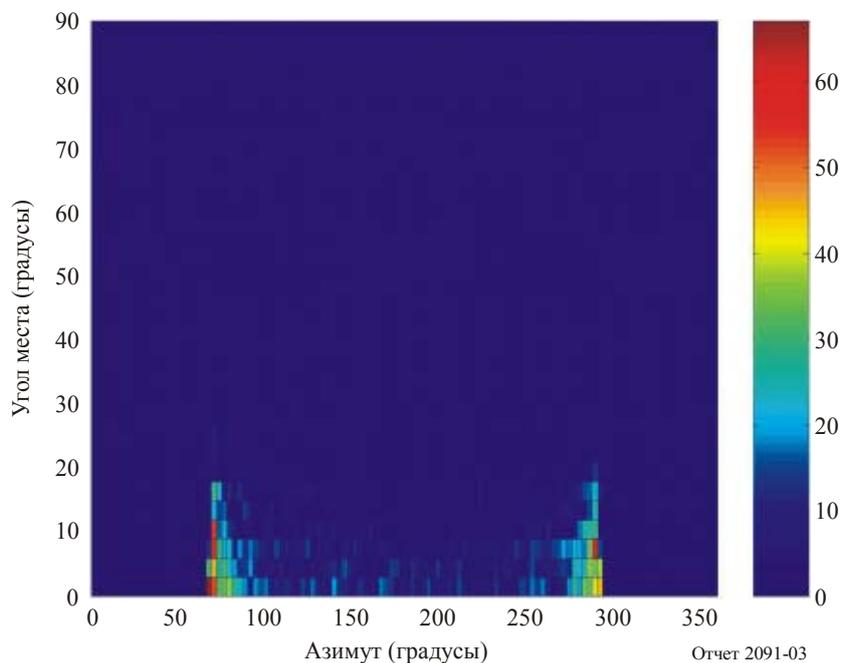
На Рисунке 4 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник ПСС.

Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы L службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -212 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 5 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м. для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -212 дБ(Вт/м²).

РИСУНОК 3

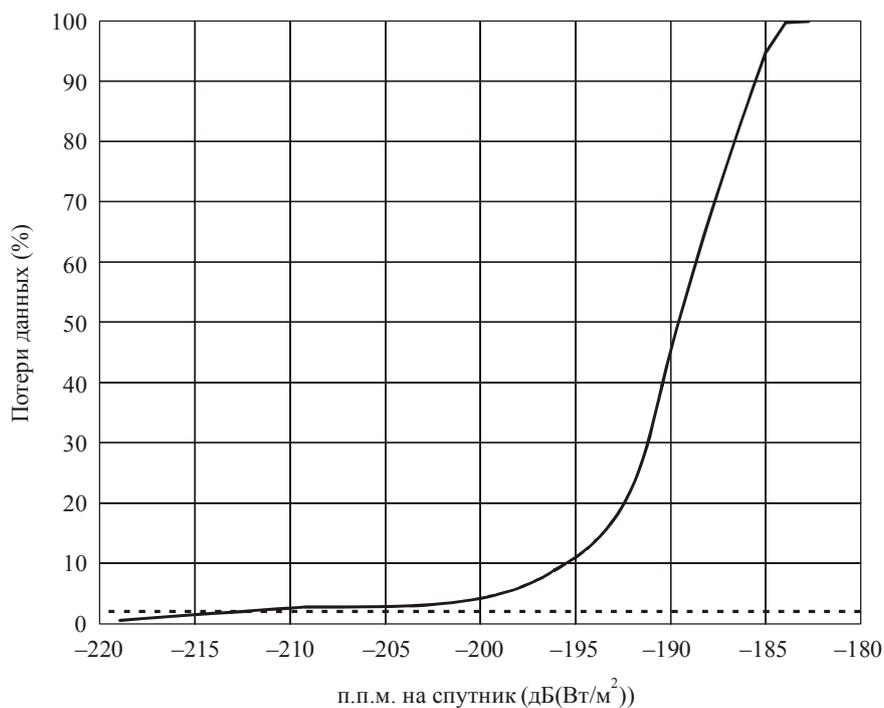
Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -216 дБ(Вт/м²), на станции RAS Effelsberg для системы L службы ПСС



Отчет 2091-03

РИСУНОК 4

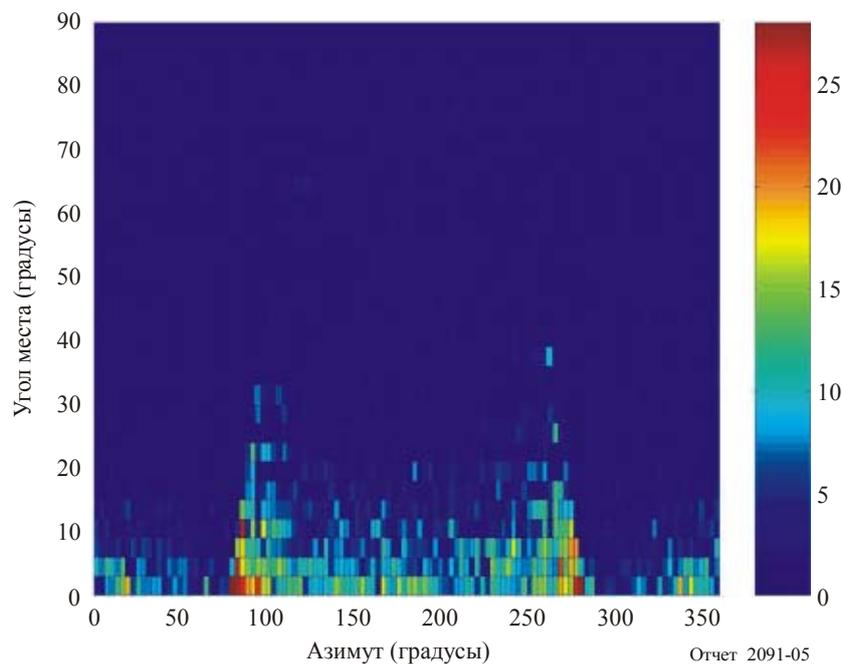
Процент потерь данных в зависимости от п.п.м. на спутник на станции RAS Effelsberg для системы M службы ПСС



Отчет 2091-04

РИСУНОК 5

Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -212 дБ(Вт/м²), на станции РАС Effelsberg для системы М службы ПСС

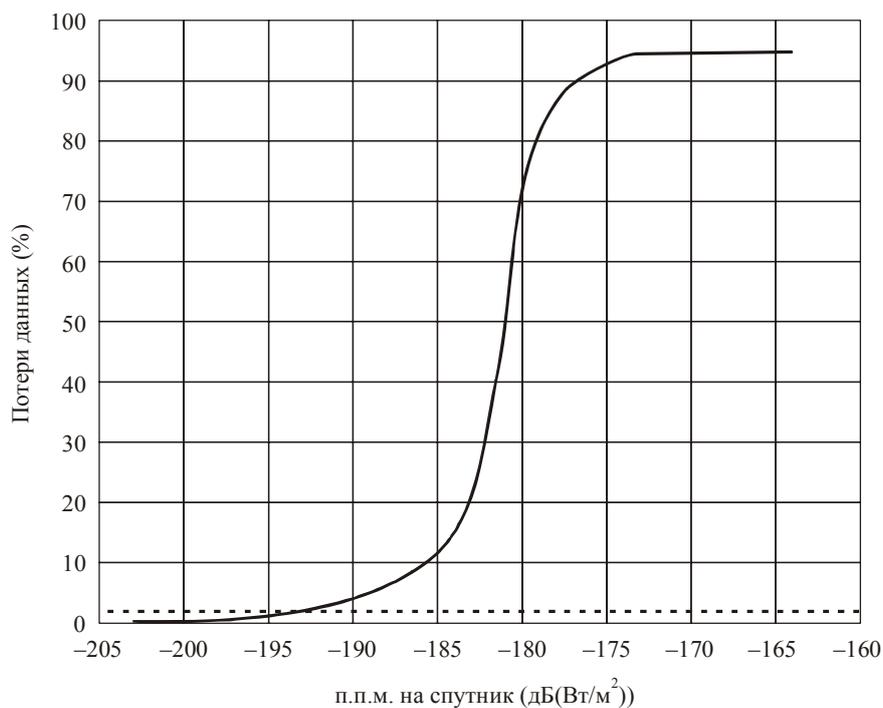


3.4.2.3 Система Р службы ПСС

На Рисунке 6 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник ПСС.

РИСУНОК 6

Процент потерь данных в зависимости от п.п.м. на спутник на РАС Effelsberg для системы Р службы ПСС

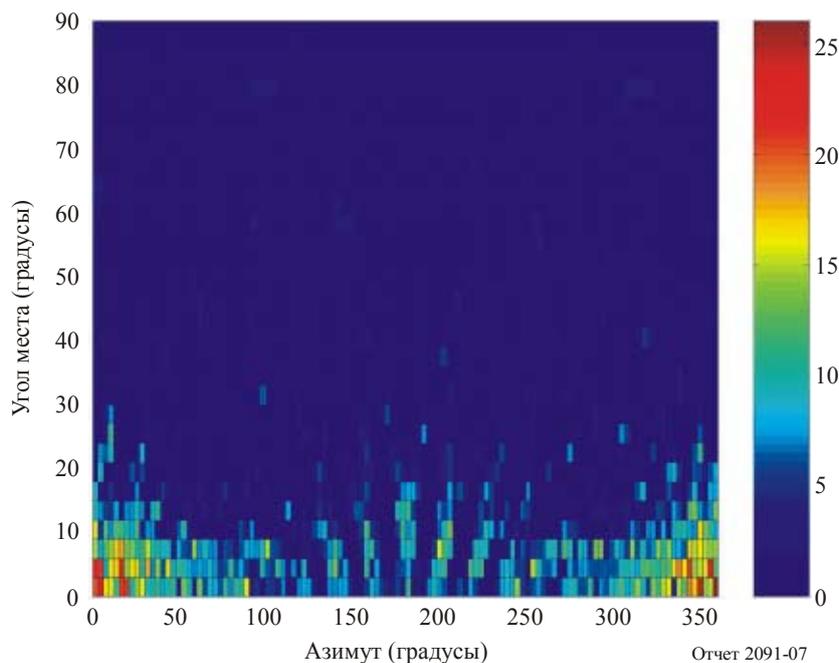


Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы L службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -193 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 7 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м. для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -193 дБ(Вт/м²).

РИСУНОК 7

Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -193 дБ(Вт/м²), на станции RAS Effelsberg для системы R службы ПСС



3.4.2.4 Система Q службы ПСС

На Рисунке 8 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник ПСС.

Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы L службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -212 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 9 показан для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -212 дБ(Вт/м²), процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м.

РИСУНОК 8

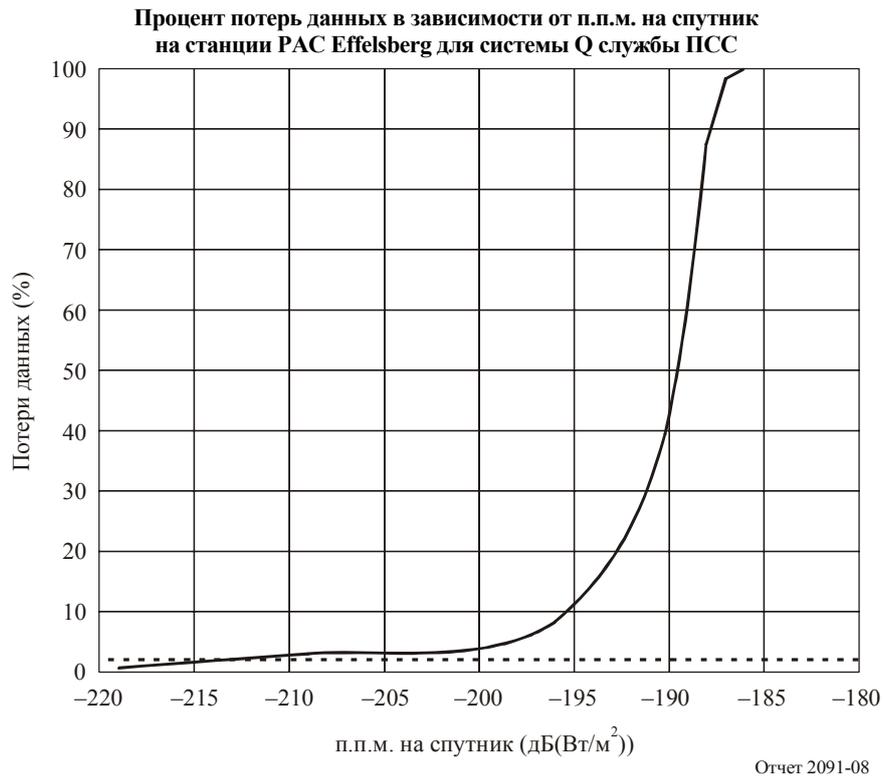
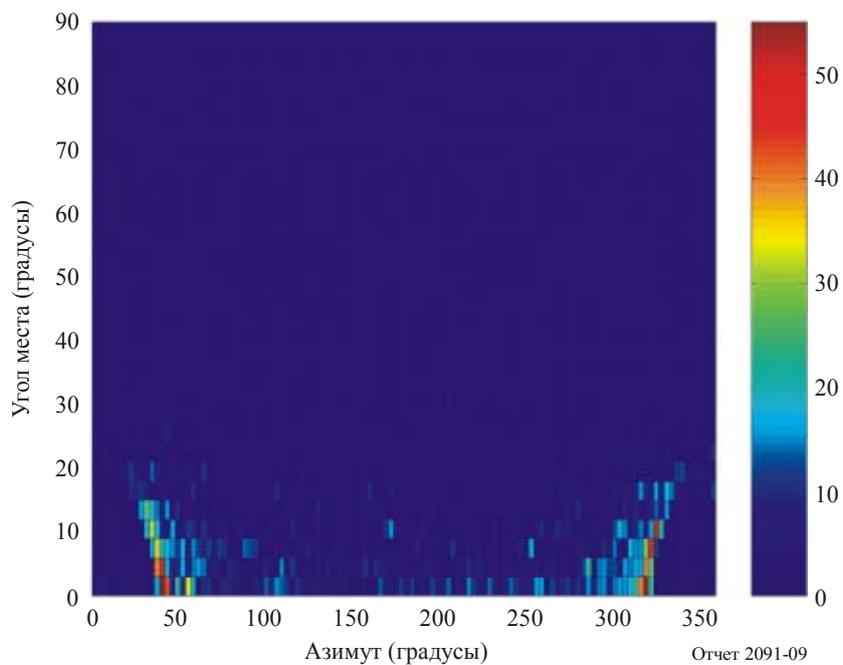


РИСУНОК 9

Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -193 дБ(Вт/м²), на станции RAS Effelsberg для системы Q службы ПСС



3.4.3 Полученные значения

Нежелательные излучения негеостационарных спутников службы ПСС, использующих полосу частот 137–138 МГц, затрагивающие полосу частот радиоастрономической службы, попадают в область побочных излучений 150,05–153 МГц.

В Таблице 3 показано необходимое ослабление для каждой из четырех негеостационарных систем ПСС, работающих на частотах ниже 1 ГГц, чтобы не превышался вредоносный порог плотности э.п.п.м..

ТАБЛИЦА 3

Ослабление негеостационарных систем ПСС, работающих на частотах ниже 1 ГГц, необходимое для достижения вредного уровня плотности э.п.п.м.

| Система | L | M | P | Q |
|---|-------|-------|--------|-------|
| Мощность излучения в полосе частот ПСС (Вт) | 25 | 18,2 | 1 | 32 |
| П.п.м. в полосе частот ПСС (дБ(Вт/м ²)) | -111 | -115 | -126 | -113 |
| $43 + 10 \times \log(P)$ | 57 | 56 | 43 | 58 |
| Побочное ослабление из Приложения 3 (дБс в 4 кГц) | 57 | 56 | 43 | 58 |
| Побочный уровень из Приложения 3 (дБ(Вт в 4 кГц)) | -43 | -43 | -43 | -43 |
| Побочный уровень в полосе частот РАС (дБВт) | -14,3 | -14,3 | -14,3 | -14,3 |
| Побочная п.п.м. в полосе частот РАС (дБ(Вт/м ²)) | -139 | -142 | -140,3 | -143 |
| Необходимая п.п.м. в пассивном полосе частот (дБ(Вт/м ²)) | -216 | -212 | -193 | -213 |
| Необходимое ослабление (дБ) | 77 | 70 | 52,7 | 70 |

Следует заметить, что для вычисления общего уровня побочных излучений в полосе частот РАС предполагалось, что побочные излучения имеют постоянный уровень по всей полосе частот РАС. Это предположение очень строгое, и очевидно не соответствует действительности, поскольку побочные излучения, как правило, появляются на некоторых отдельных частотах. Поэтому при дальнейшем исследовании следует принимать во внимание отдельный компонент побочных излучений, для того чтобы иметь более реальное представление об уровне нежелательных излучений в полосе частот РАС.

3.5 Методы уменьшения помех

3.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

3.5.2 Возможное воздействие на РАС

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Попытки уменьшить чувствительность радиоастрономической антенны к нежелательным излучениям, исходящим от космических станций вероятно повысят чувствительность радиоастрономического телескопа к земному излучению, и возможно

уменьшат усиление его главного луча. Оба эти воздействия уменьшат пропускную способность канала телескопа и тем самым приведут к увеличению всего необходимого времени интеграции.

Гашение по времени и/или частоте. Гашение влечет за собой риск понижения достоверности данных и может привести к ошибкам в их научной интерпретации. Также гашение приводит к увеличению времени интеграции, необходимого для осуществления наблюдений, что соответствует потере пропускной способности канала телескопа.

4 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 322–328,6 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 387–390 МГц

4.1 РАС

4.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 322–328,6 МГц распределена на первичной основе фиксированной службе, подвижной службе (кроме воздушной подвижной) и радиоастрономической службе.

П. 5.149 Регламента радиосвязи призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех.

4.1.2 Тип наблюдений

Данная полоса частот используется для непрерывных (широкополосных) и (узкополосных) наблюдений спектральной линии, как с одной параболической антенной, так и в режиме интерферометра со сверхдлинной базой (VLBI).

Требуется обеспечить необходимое покрытие спектра непрерывных наблюдений источников космических радиоизлучений. Для этого покрытия требуется заданная протяженность октавы, и оно находится точно посередине между полосами частот 150,5–153 МГц и 608–614 МГц, которые РАС также использует для своих нужд.

Эта полоса частот содержит важную атомную спектральную линию, линию дейтерия сверхтонкой структуры на частоте 327,4 МГц, которая была недавно обнаружена (май 2005 г.). Относительная распространенность дейтерия по сравнению с водородом напрямую связана с проблемой возникновения Вселенной и с синтетической апертурой элементов, и определение его распространенности или нижней границы по этому значению, или верхней границы по этому значению, поможет в формировании космологической теории.

Эта полоса частот также используется для наблюдений за излучениями с очень сильным смещением в красную область спектральной линии 1420,4 МГц атомно-нейтрального водорода (HI). Данная линия является наиболее часто наблюдаемой спектральной линией в близлежащих галактиках. Наблюдения в спектральной полосе частот 322–328,6 МГц позволяют изучать эру формирования галактик и крупномасштабных структур во Вселенной и потому помочь в формировании космологической теории.

4.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769. Это такие пороговые уровни, выше которых радиоастрономические данные ухудшаются и, в итоге, могут быть потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, (например, качественные показатели антенны и т.д.) на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для обеспечения получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

Полоса частот 322–328,6 МГц используется и для непрерывных наблюдений, и для наблюдений спектральной линии. Для непрерывных наблюдений с одной антенной используется вся полоса 6,6 МГц, в таком случае порог п.п.м. для вредных помех равен -189 дБ(Вт/м²). Для наблюдений спектральной линии с одной антенной порог п.п.м. плотности помех составляет -204 дБ(Вт/м²) в полосе частот 10 кГц. Гораздо менее восприимчивы к помехам наблюдения интерферометра со сверхдлинной базой (VLBI), где записываются и коррелируются сигналы, наблюдаемые с использованием распределенных антенн. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот -147 дБ(Вт/м²), для всей полосы частот шириной 6,6 .

4.1.4 Эксплуатационные характеристики

Как правило, наблюдения выполняются по-разному.

В случае непрерывных наблюдений может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений вне источника из значений на источнике, на выходе приемника излучение, создаваемое источником, отделяется от других составляющих.

В случае наблюдений спектральной линии, спектры сначала записываются в полосах частот, включая интересующие линейные излучения (линейные спектры), а затем на частоте, которая сдвинута относительно линейчатых излучений, или на той же частоте, но в близлежащей позиции в небе (эталонные спектры). Вычитая эталонные спектры из линейных, можно удалить из данных нежелательные шумовые и другие загрязняющие составляющие.

Наблюдения спектральной линии производятся с помощью многоканальных спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих (обычно до 8192) частотных каналах, распределенных по полосе частот. Число каналов и их индивидуальные частоты выбраны так, чтобы они точно соответствовали спектру чистого излучения от космического(их) объекта(ов) в луче антенны.

Наблюдения в режиме VLBI производятся посредством преобразования частоты сигналов вниз к базовой полосе частот, преобразования их в цифровую форму без коррекции и записи на пленку или другой носитель информации, вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и корректируются. Следовательно, полное воздействие помех может оставаться неизвестным, до тех пор пока не закончится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

4.2 ПСС

4.2.1 Полосы частот, распределенные для передачи

Полоса частот 387–390 МГц во всех Районах распределена подвижной спутниковой службе (космос–Земля) на вторичной основе.

В данной полосе частот к службе ПСС применяются пп. 5.208А и 5.255 РР.

В п. 5.208А сказано, что "При присвоении частот космическим станциям подвижной спутниковой службы в полосах 137–138 МГц, 387–390 МГц и 400,15–401 МГц администрации должны принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы в полосах 150,05–153 МГц, 322–328,6 МГц, 406,1–410 МГц и 608–614 МГц от вредных помех со стороны нежелательных излучений. Пороговые уровни помех, недопустимых для радиоастрономической службы, приведены в Таблице 1 Рекомендации МСЭ-R RA.769–1. (ВКР-97)".

В п. 5.255 сказано, что "Полосы 312–315 МГц (Земля–космос) и 387–390 МГц (космос–Земля) в подвижной спутниковой службе могут также использоваться негеостационарными спутниковыми системами. При таком использовании должны применяться процедуры координации в соответствии с п. 9.11А".

4.2.2 Применение

Негеостационарные системы ПСС ниже 1 ГГц предназначены для цифровой передачи и поддержки связи.

4.2.3 Уровни на основе регламентарных норм

В данной полосе частот к службе ПСС не применяется строгих ограничений.

4.2.4 Эксплуатационные характеристики

4.2.4.1 Негеостационарные системы

Ни в одной Рекомендации МСЭ-R, и, в частности, в Рекомендации МСЭ-R M.1184, не содержится информации о системах ПСС, использующих полосу частот 387–390 МГц.

Российская система "Гонец" указана в Международном справочном регистре частот (MIFR) МСЭ. В Таблице 4 приведены характеристики системы ПСС, использованные при анализе.

Для того чтобы ослабить нежелательные излучения в полосе частот 322–328,6 МГц, на спутниках "Гонец-М" установлены специальные фильтры, обеспечивающие ослабление на 50 дБ.

ТАБЛИЦА 4
Характеристики спутников "Гонец-М"

| Параметр | Значение |
|---|------------|
| Тип орбиты | Круговая |
| Высота (км) | 1 500 |
| Наклон (градусы) | 82,5 |
| Число спутников в плоскости | 8 |
| Количество орбитальных плоскостей | 6 |
| Интервал между спутниками в плоскости (градусы) | 22,5 |
| Разделение плоскостей (градусы) | 60 |
| Полоса рабочих частот (МГц) | 387–390 |
| Максимальная спектральная плотность мощности (дБ(Вт/Гц)) | –32,3 |
| Мощность излучений в полосе частот 322–328,6 МГц (дБ(Вт/6,6 МГц)) | –34,8 |
| Спектральная плотность мощности в сегменте 10 кГц полосы частот 322–328,6 МГц (дБ(Вт/10 кГц)) | –63 |
| Ослабление фильтра (дБ) | 50 |
| Максимальное усиление передающей спутниковой антенны (дБ) | 3 |
| Диаграмма направленности передающей антенны | Нет данных |

4.2.4.2 Геостационарные спутники

В Таблице 5 приведены несколько геостационарных спутников ПСС, которые указаны в MIFR, но нет сведений об их технических параметрах.

ТАБЛИЦА 5

Зарегистрированные в MIFR спутники, работающие в полосе частот 387–390 МГц, распределенной активным службам

| Администрация | Название спутника |
|---------------|-------------------|
| AUS | ADF/ADF West |
| F | SYRACUSE-4 |
| G | SKYNET-5 |
| RUS | VOLNA |

В результате предполагается, что от помех воздействуют на типичный спутник на геостационарной орбите на 0° долготы.

4.3 Порог совместимости

4.3.1 Негеостационарные системы

Для негеостационарных группировок для непрерывных наблюдений в полосе частот 322–328,6 МГц из порогового уровня для помех, вредных для радиоастрономических наблюдений, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.769, и максимального усиления радиоастрономической антенны, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.1631, которое равно 51 дБи для данной полосы частот, может быть вычислен пороговый уровень э.п.п.м., равный -240 (дБ(Вт/м²)). Для наблюдений спектральной линии соответствующий пороговый уровень э.п.п.м. в полосе частот 10 кГц равен -255 (дБ(Вт/м²)).

4.3.2 Геостационарные системы

Рекомендация МСЭ-R RA.769 содержит пороговые уровни помех, являющихся вредными для радиоастрономических (широкополосных) наблюдений. Они приводятся в Таблице 6.

ТАБЛИЦА 6

Критерии защиты для радиоастрономии

| Полоса частот активных служб (МГц) | Активная служба | Полоса частот пассивных служб (МГц) | Максимальная мощность (RA.769) (дБВт) | п.п.м. (RA.769) (дБ(Вт/м ²)) | spfd (RA.769) (дБ(Вт/(м ² · Гц))) |
|------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| 387–390 | ПСС | 322–328,6 | -201 | -189 | -258 |

4.4 Оценка помех

4.4.1 Негеостационарные системы

4.4.1.1 Методика, использованная для вычисления уровня помех

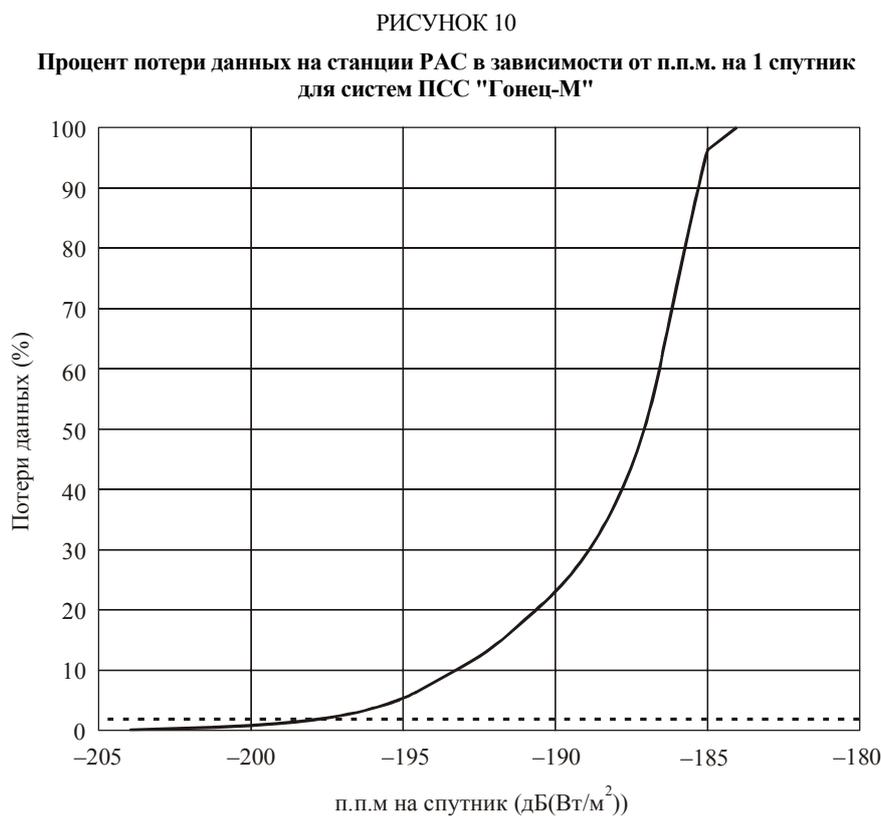
В Рекомендации МСЭ-R M.1583 представлена методика вычисления уровня нежелательных излучений для радиоастрономических станций, создаваемых негеостационарной системой. Она основана на разделении неба на участки с примерно равными телесными углами, и на статистическом анализе, где линия визирования антенны РАС и стартовое время спутниковых группировок являются случайными переменными. Для каждого измерения уровень нежелательных излучений, выраженный в э.п.п.м., усреднен по периоду 2000 с.

Выбранная станция РАС имеет антенну с диаметром 100 м и максимальным усилением 51 дБи. Диаграмма направленности антенны и максимальное усиление антенны взяты из Рекомендации МСЭ-R RA.1631. Станция располагается в центре Франции.

С целью получения наиболее общих результатов, моделирование было проведено со значением угла места антенны РАС, равным 0° .

4.4.1.2 Вычисление уровня помех

На Рисунке 10 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. непрерывных наблюдений для указанных значений п.п.м. на 1 спутник ПСС (как объясняется в Рекомендации МСЭ-R RA.1513, превышение данного уровня равнозначно потере данных).



Отчет 2091-10

Для того чтобы выполнялись требования по пороговому уровню э.п.п.м. для непрерывных наблюдений в течение более 98% времени, в среднем по всему небу, каждый спутник системы ПСС "Гонец-М" должен создавать п.п.м. меньше -198 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы 322–328,6 МГц.

На Рисунке 11 для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -198 дБ(Вт/м²), показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м.

На Рисунке 11 азимут направлен к северу и увеличивается с запада на восток.

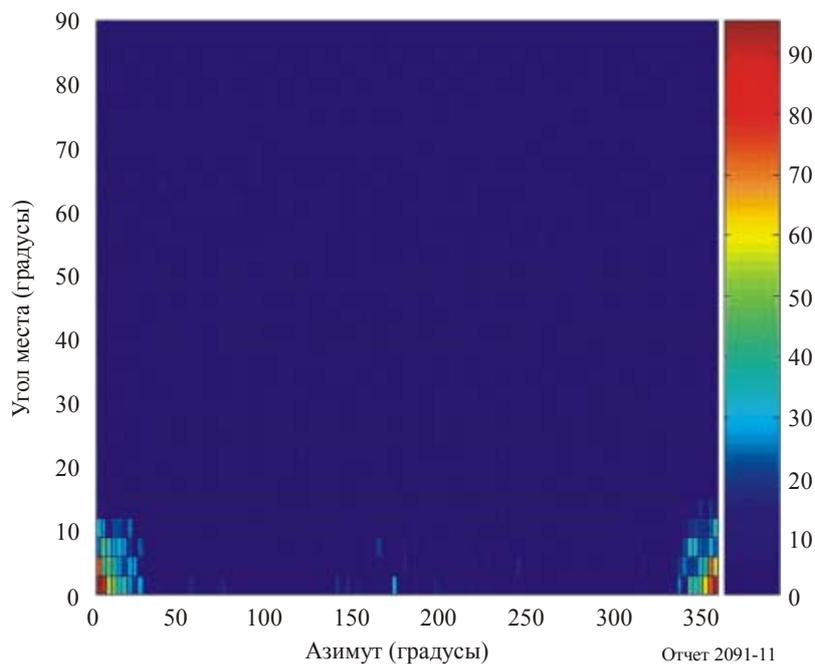
Значение п.п.м., необходимое для наблюдений спектральных линий, может быть напрямую выведено без дальнейшего моделирования из значения, необходимого для непрерывных наблюдений, при помощи формулы (9):

$$pdf_{spectral} = pdf_{continuum} + epfd_{spectral} - epfd_{continuum} \quad (9)$$

Для того чтобы выполнялись требования по пороговому уровню э.п.п.м. для непрерывных наблюдений в течение более 98% времени в среднем по всему небу, каждый спутник системы "Гонец-М" службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -213 дБ(Вт/м²) в любом участке спектра шириной 10 кГц в полосе частот радиоастрономической службы 322–328,6 МГц.

РИСУНОК 11

Процент потери данных на станции РАС по всему небу для значения п.п.м., равного -198 дБ(Вт/м²), для системы ПСС "Гонец-М"



Учитывая качественные показатели системы, спектральная плотность мощности на земной поверхности от любого спутника системы "Гонец-М" в любом участке полосы частот 322–328,6 МГц шириной 10 кГц будет равна $-244,5$ дБ(Вт/(м² · 10 кГц)) (см. п. 4.3.1), что не превышает указанного выше критерия в $-213,5$ дБ(Вт/(м² · 10 кГц)).

4.4.2 Геостационарные спутники

Ниже приведена доступная информация по четырем существующим спутникам, имеющаяся в MIFR. В этом случае предполагается, что обычный геостационарный спутник располагается на долготе 0°.

Для исследований, описываемых в последующих подразделах,

- Все характеристики станций РАС взяты с веб-сайта <http://www.astron.nl/craf/raobs.htm>. Они расположены в странах СЕРТ.

Принимая во внимание разные расположения геостационарных спутников соответствующей и радиоастрономической станции, можно вычислить допустимый уровень э.и.и.м. в полосе частот РАС так, чтобы обеспечить выполнение критерия защиты всех радиоастрономических станций, представленных на Рисунке 12.

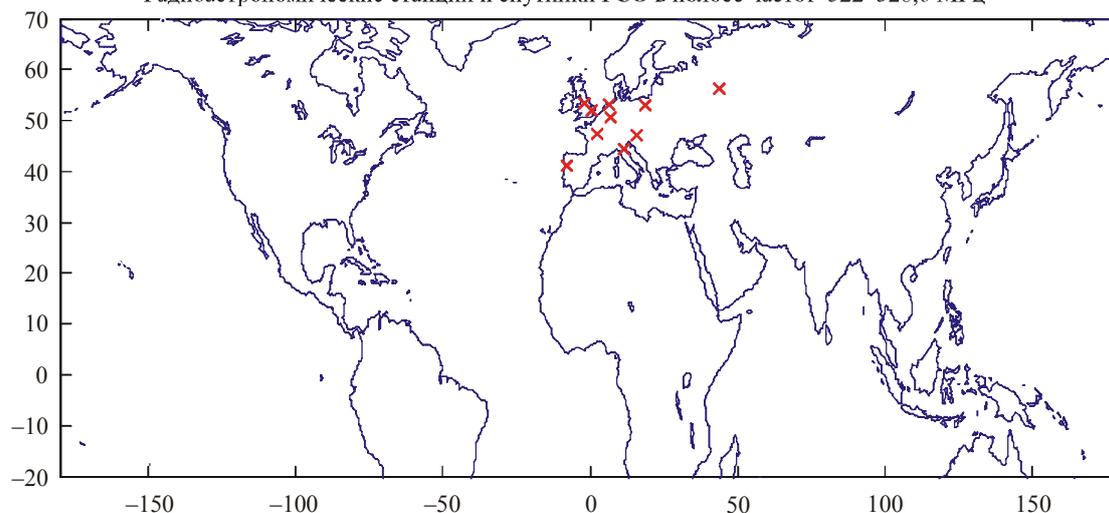
В результате, когда известны некоторые типичные параметры геостационарной орбиты, можно определить коэффициент затухания внеполосных излучений (ОоВ) на основе разницы между э.и.и.м. геостационарного спутника активной службы и максимально возможным уровнем э.и.и.м. в пределах полосы частот пассивной службы.

В этом случае оценку помех можно выполнить путем сравнения требуемого коэффициента затухания с необходимыми данными в соответствующих Рекомендациях МСЭ-R (например, ограничение, указанное в Приложении 3 РР).

РИСУНОК 12

Станции РАС и геостационарные спутники в полосе частот 322–328,6 МГц

Радиоастрономические станции и спутники ГСО в полосе частот 322–328,6 МГц



× Радиоастрономические станции

Отчет 2091-12

4.4.3 Полученные значения

4.4.3.1 Негеостационарные спутники

Из данных, представленных в п. 4.2.4, можно рассчитать уровень п.п.м., создаваемой каждым спутником ПСС в полосе частот РАС, как показано в Таблице 7.

ТАБЛИЦА 7
Максимальная п.п.м., создаваемая спутниками "Гонец-М"

| Параметр | Непрерывные наблюдения (полоса частот 322–328,6 МГц) | Спектральные линии (любой участок 10 кГц в полосе частот 322–328,6 МГц) |
|---|--|---|
| Высота (км) | 1 500 | |
| Мощность излучения (дБВт) | –34,8 | –63 |
| Дополнительное ослабление фильтра (дБ) | 50 | |
| Максимальное усиление передающей антенны спутника (дБ) | 3 | |
| Максимальная п.п.м. излучения на спутник (дБ(Вт/м ²)) | –216,3 | –244,5 |

Анализ результатов показывает (см. п. 4.4.1.2), что запас для непрерывных наблюдений превышен больше, чем на 18 дБ, и на 31 дБ – для наблюдений спектральной линии. Данное заключение также актуально для радиоастрономических наблюдений VLBI в полосе частот 322–328,6 МГц.

Следует отметить также, что данная методика не учитывает динамического распределения каналов космических станций "Гонец-М". Кроме того, космические станции "Гонец-М" передают информацию в виде коротких импульсов, каждый из которых передается на своей частоте. Во время исследования предполагалось, что все станции всегда использовали один и тот же частотный канал. Поэтому полученные результаты относятся к сценарию помех для наихудшего случая.

4.4.3.2 Геостационарные спутники

Значения э.и.и.м., приведенные в Таблице 8, получены из пороговых уровней п.п.м., приведенных в Таблице 8 (последний столбец) с учетом потерь в свободном пространстве. Напоминаем, что считается, что для спутника, находящегося в точке с долготой 0° , нет технических параметров, зарегистрированных в MIFR.

ТАБЛИЦА 8
Максимально допустимый уровень э.и.и.м. на спутнике в полосе частот РАС

| Полоса частот активных служб (МГц) | Полоса частот пассивных служб (МГц) | Максимальный уровень э.и.и.м. в полосе частот РАС (дБ(Вт/Гц)) | Максимальный уровень э.и.и.м. в полосе частот РАС (дБВт) |
|------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| 387–390 | 322–328,6 | –94,5 | –26,3 |

4.5 Методы уменьшения помех

4.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные характеристики для боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T , т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

4.5.2 Возможное воздействие на РАС

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Попытки уменьшить чувствительность радиоастрономической антенны к нежелательным излучениям, исходящим от космических станций вероятно повысят чувствительность радиоастрономического телескопа к земному излучению, и возможно уменьшат усиление его главного луча. Оба эти воздействия уменьшат пропускную способность канала телескопа и тем самым приведут к увеличению всего необходимого времени интеграции.

Гашение по времени и/или частоте. Гашение влечет за собой риск понижения достоверности данных и может привести к ошибкам в их научной интерпретации. Также гашение приводит к увеличению времени интеграции, необходимого для осуществления наблюдений, что соответствует потере пропускной способности канала телескопа.

5 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 406,1–410 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 400,15–401 МГц

5.1 РАС

5.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 406,1–410 МГц распределена на первичной основе фиксированной службе, подвижной службе (кроме воздушной подвижной) и службе РАС.

П. 5.149 Регламента радиосвязи призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех.

5.1.2 Тип наблюдений

Данная полоса частот используется только для непрерывных (широкополосных) наблюдений.

Требуется обеспечить необходимое покрытие спектра непрерывных наблюдений источников космических радиоизлучений, и он находится точно посередине между полосами частот 322,0–328,6 МГц и 608–614 МГц, которые также используются для этих целей службой РАС.

5.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Это такие пороговые уровни, при превышении которых радиоастрономические данные ухудшаются и, в итоге, могут быть потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не даст эффекта в плане доставки достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

Полоса частот 406,1–410 МГц используется только для непрерывных наблюдений. Как правило, для непрерывных наблюдений используется вся полоса шириной 3,9 МГц. Пороговая величина п.п.м. для вредных помех наблюдениям с одной параболической антенной составляет -189 дБ(Вт/м²).

5.1.4 Эксплуатационные характеристики

Как правило, наблюдения выполняются по-разному: может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

5.2 ПСС

5.2.1 Полосы частот, распределенные для передачи

Полоса частот 400,15–401 МГц во всех Районах распределена службе ПСС (космос-Земля) на первичной основе.

В данной полосе частот для службы ПСС применяются пп. 5.208А и 5.255 Регламента радиосвязи.

В п. 5.208А сказано, что "При присвоении частот космическим станциям подвижной спутниковой службы в полосах 137–138 МГц, 387–390 МГц и 400,15–401 МГц администрации должны принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы в полосах 150,05–153 МГц, 322–328,6 МГц, 406,1–410 МГц и 608–614 МГц от вредных помех со стороны нежелательных излучений. Пороговые уровни помех, недопустимых для радиоастрономической службы, приведены в Таблице 1 Рекомендации МСЭ-R RA.769–1. (ВКР-97)".

В п. 5.255 сказано, что "Полосы 312–315 МГц (Земля–космос) и 387–390 МГц (космос–Земля) в подвижной спутниковой службе могут также использоваться негеостационарными спутниковыми системами. (ВКР-97)".

5.2.2 Применение

Негеостационарные системы ПСС, работающие на частотах ниже 1 ГГц, способны передавать цифровые пакеты данных на низких скоростях (от 2,8 до 19,2 кбит/с). Данные системы обеспечивают высококачественный беспроводной обмен данными. Низкие частоты (ниже 1 ГГц) и низкая околоземная орбита предполагают использование небольших, маломощных земных станций и спутников и, соответственно, низкую стоимость реализации системы. Сети спроектированы таким образом, чтобы они могли покрыть весь Земной шар или большую его часть, некоторые системы не обеспечивают полного покрытия полярных областей. Как правило, данные системы ПСС работают в режиме почти реального времени, когда один и тот же спутник имеет контакт и с абонентской станцией, и со станцией фидерной линии. Однако системы могут также работать в режиме хранения с последующей передачей, когда абонентские станции и станции служебной связи не находятся в пределах зоны покрытия одного спутника, например, когда пользователь находится в открытом море. В данном режиме система работает с задержкой по времени, которая может длиться от нескольких секунд до нескольких часов, в зависимости от следующего прохождения над станцией фидерной линии.

Данный вид систем предоставляет беспроводную высококачественную передачу данных для коммерческой, отраслевой и правительственной связи, а также для потребителей по всему миру.

5.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

В данной полосе частот к службе ПСС не применяется строгих ограничений.

5.2.4 Эксплуатационные характеристики

В Рекомендации МСЭ-R M.1184 описываются технические и эксплуатационные характеристики четырех негеостационарных систем ПСС, которые используют или планируют использовать данную полосу частот либо для служебной связи, либо для линий вниз к станциям сопряжения. Это системы L, N, Q и S. Орбитальные характеристики реальной системы Q отличаются от тех, что приведены в этой Рекомендации. Реальные характеристики приведены в Таблице 2 вместе с характеристиками систем L, N и S.

5.3 Порог совместимости

Для негеостационарных группировок уровень э.п.п.м. может быть получен из уровня порога, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.769, и максимального усиления антенны, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.1631, который составляет 53 дБи для данной полосы частот. Следовательно, значение порога э.п.п.м. для полосы частот 406,1–410 МГц составит -242 дБ(Вт/м²).

ТАБЛИЦА 9

Параметры орбиты нескольких негеостационарных сетей службы ПСС ниже 1 ГГц

| Система | L | N | Q | | S |
|---|---|-----------|-----------------|-------|-------------|
| Количество спутников | 48 | 3 | 26 | | 6 |
| Высота (км) | 950 | 800 | 1 000 | | 692; 667 |
| Наклон (градусы) | 50 | 88 | 66 | 83 | 98,04 |
| Плоскость орбиты | 8 | 3 | 4 | 2 | 2 |
| Спутник/плоскость | 6 | 1 | 6 | 1 | 3 |
| Прямое восхождение восходящего узла (градусы) | 0; 45; 90; 135; 180; 225; 270; 315 | 0; 15; 90 | 0; 90; 180; 270 | 0; 90 | 143,5; 53,5 |
| Мощность излучения на линии вниз (Вт) | 25 | 6,3 | 32 | | 10 |
| Э.и.и.м. на линии вниз (дБВт) | 19,7 | 10 | 17,8 | | 18 |
| Необходимая полоса пропускания (кГц) | 35 | 85 | 45 | | 300 |
| П.п.м. в полосе частот ПСС (дБ(Вт/м ²)) | -111 | -119 | -113 | | -110 |

5.4 Оценка помех

5.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

В Рекомендации МСЭ-R M.1583 представлена методика вычисления уровня нежелательных излучений для радиоастрономических станций, создаваемых негеостационарной системой. Она основана на разделении неба на ячейки с примерно равными размерами и на статистическом анализе, где линия визирования антенны РАС и стартовое время спутниковых группировок являются случайными переменными. Для каждого измерения уровень нежелательных излучений, выраженный в э.п.п.м., усреднен по периоду 2000 с.

Диаметр антенны РАС равен 100 м, что соответствует максимальному усилению антенны, равному примерно 53 дБи. Диаграмма направленности антенны и максимальное усиление антенны взяты из Рекомендации МСЭ-R RA.1631.

Выбранные географические координаты:

Широта: 46,9° с.ш. Долгота: 2,4° в.д.

С целью получения наиболее общих результатов, моделирование было проведено со значением угла места антенны РАС, равным 0°.

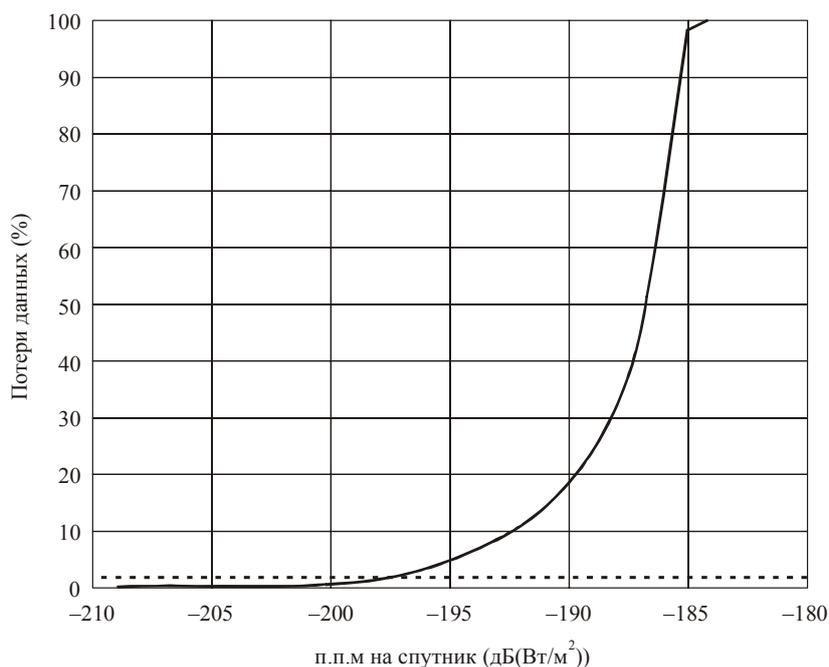
5.4.2 Вычисление уровня помех

5.4.2.1 Система L службы ПСС

На Рисунке 13 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник ПСС, как объясняется в Рекомендации МСЭ-R RA.1513, превышение данного уровня равнозначно потере данных.

РИСУНОК 13

Процент потерь данных на станции РАС в зависимости от п.п.м. на спутник



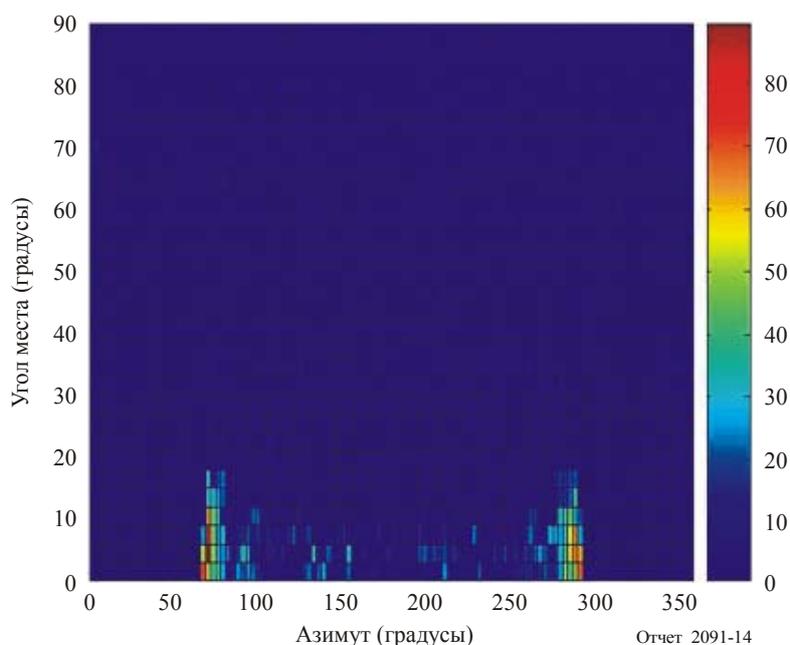
Отчет 2091-13

Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы L службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше $-197 \text{ дБ(Вт/м}^2\text{)}$ в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 14 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м. для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного $-197 \text{ дБ(Вт/м}^2\text{)}$.

РИСУНОК 14

Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного $-197 \text{ дБ(Вт/м}^2\text{)}$, на станции РАС для системы L службы ПСС



Отчет 2091-14

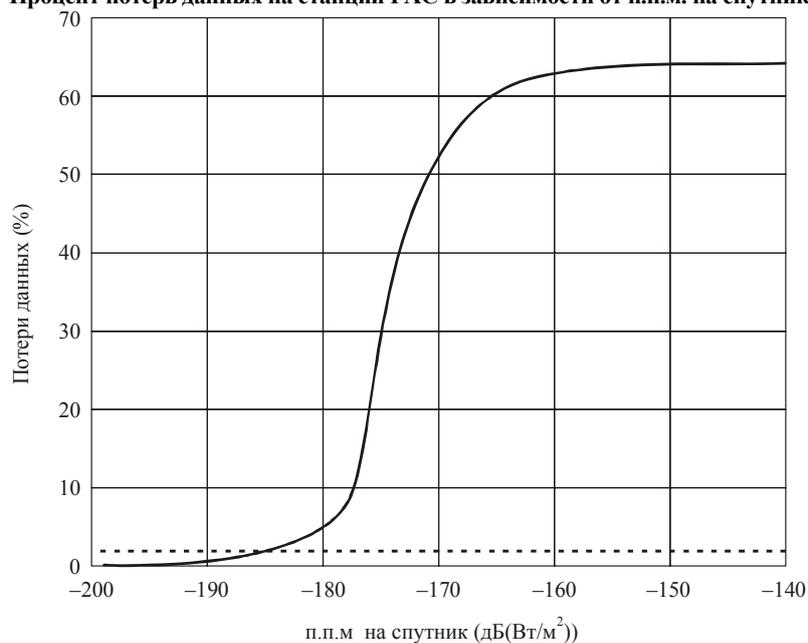
На Рисунках 16, 18 и 20 азимут 0° направлен к северу и увеличивается с запада на восток.

5.4.2.2 Система N службы ПСС

На Рисунке 15 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник ПСС.

РИСУНОК 15

Процент потерь данных на станции РАС в зависимости от п.п.м. на спутник



Отчет 2091-15

Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы N службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -185 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 16 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м. для каждого участка неба и для значения п.п.м. на спутник, равного -185 дБ(Вт/м²).

5.4.2.3 Система Q службы ПСС

На Рисунке 17 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник ПСС.

Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы Q службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -195 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 16 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м. для каждого участка неба и для значения п.п.м. на спутник, равного -195 дБ(Вт/м²).

РИСУНОК 16

Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -185 дБ(Вт/м²), на станции РАС службы ПСС

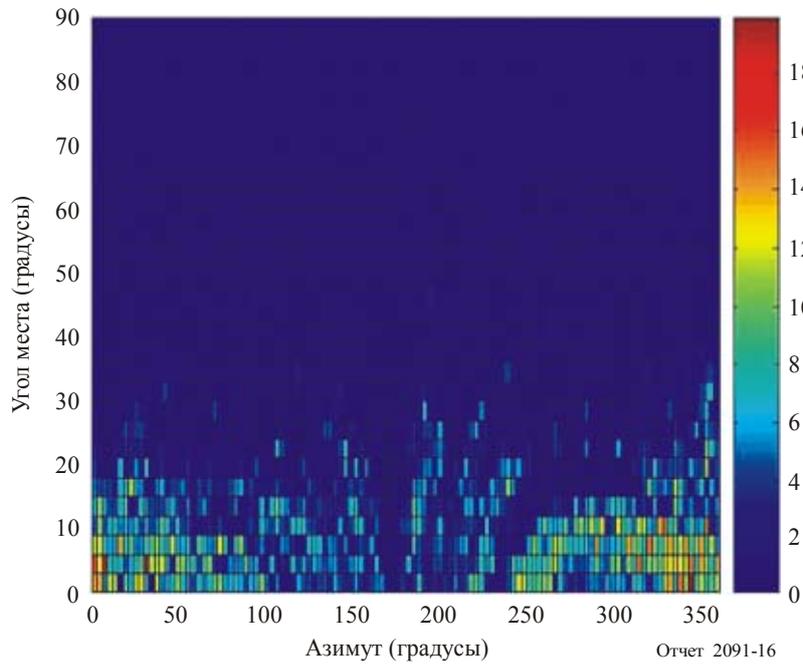
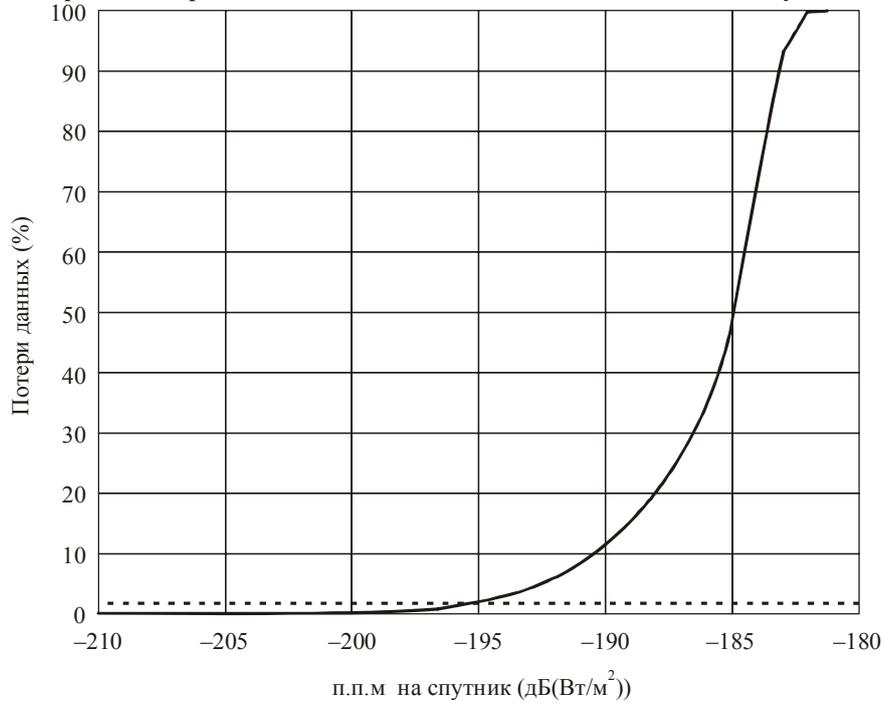


РИСУНОК 17

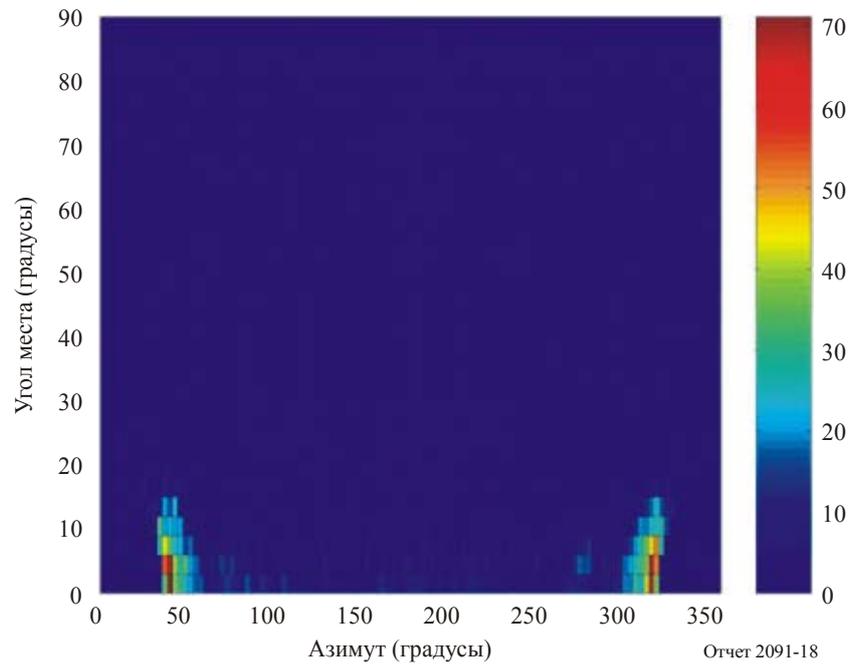
Процент потерь данных на станции РАС в зависимости от п.п.м. на спутник



Отчет 2091-17

РИСУНОК 18

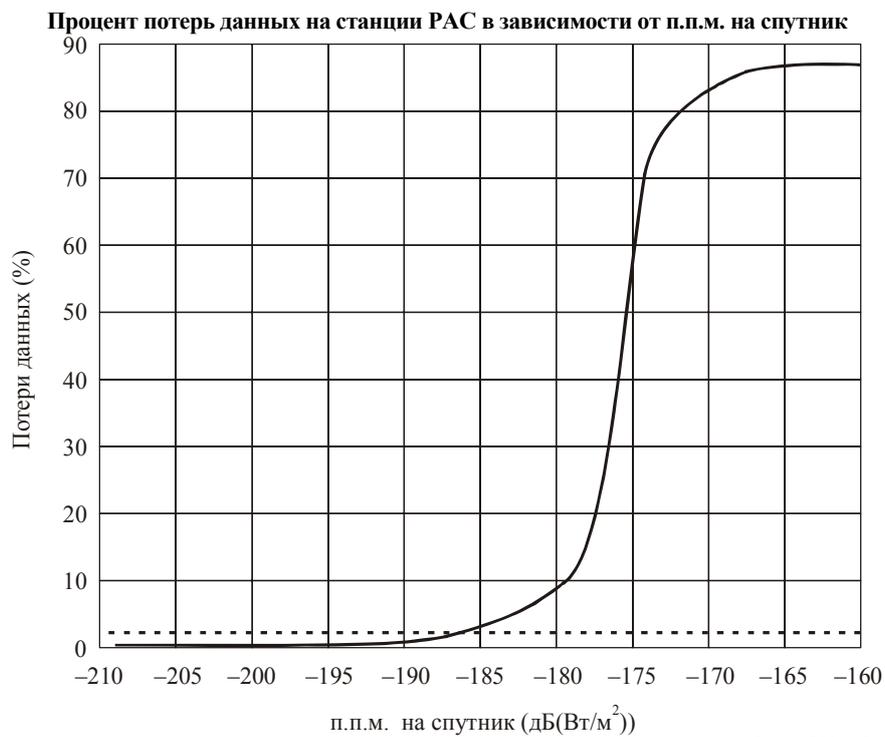
Процент потерь данных на станции РАС по всему небу для значения п.п.м. службы ПСС, равного -195 дБ(Вт/м²),



5.4.2.4 Система S службы ПСС

На Рисунке 19 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник ПСС.

РИСУНОК 19

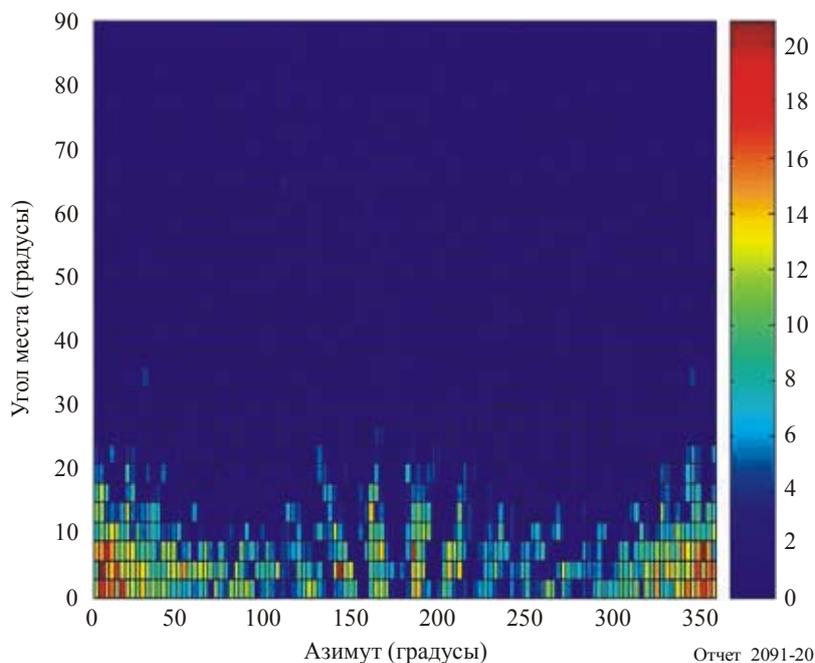


Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы S службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -187 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 20 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м. для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -187 дБ(Вт/м²).

РИСУНОК 20

Процент потерь данных на станции РАС по всему небу для значения п.п.м. службы ПСС, равного -187 дБ(Вт/м²),



Отчет 2091-20

5.4.3 Полученные значения

Нежелательные излучения негеостационарных спутников службы ПСС, использующих полосу частот 400,15–401 МГц, затрагивающие полосу частот радиоастрономической службы, попадают в область побочных излучений 406,1–410 МГц. В Таблице 10 показано необходимое ослабление для каждой из четырех негеостационарных систем ПСС, работающих на частотах ниже 1 ГГц, чтобы не превышался вредоносный порог плотности э.п.п.м..

Следует заметить, что для вычисления общего уровня побочных излучений в полосе частот РАС предполагалось, что побочные излучения имеют постоянный уровень по всей полосе частот РАС. Это предположение очень строгое и, очевидно, не соответствует действительности, поскольку побочные излучения, как правило, появляются на некоторых отдельных частотах. Поэтому при дальнейшем исследовании следует принимать во внимание отдельный компонент побочных излучений, для того чтобы иметь более реальное представление об уровне нежелательных излучений в полосе частот РАС.

ТАБЛИЦА 10

Ослабление негеостационарных систем ПСС, работающих на частотах ниже 1 ГГц, необходимое для получения вредного уровня плотности э.п.п.м.

| Система | L | N | Q | S |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Мощность излучения в полосе частот ПСС (Вт) | 25 | 6,3 | 32 | 10 |
| $43 + 10 \log P$ | 57 | 51 | 58 | 53 |
| Побочное ослабление из Приложения 3 (дБс в 4 кГц) | 57 | 51 | 58 | 53 |
| Побочный уровень из Приложения 3 (дБ(Вт в 4 кГц)) | -43 | -43 | -43 | -43 |
| Уровень п.п.м. в полосе частот ПСС (дБ(Вт/м ²)) | -111 | -110 | -113 | -110 |
| Побочный уровень в полосе частот РАС (дБВт) | -13,1 | -13,1 | -13,1 | -13,1 |
| Уровень п.п.м. в полосе частот РАС (дБ(Вт/м ²)) | -138 | -131 | -141 | -133 |
| Максимальный уровень п.п.м. в полосе частот РАС (дБ(Вт/м ²)) | -197 | -185 | -195 | -187 |
| Необходимое ослабление (дБ) | 59 | 54 | 54 | 54 |

5.5 Методы уменьшения помех

5.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

5.5.2 Возможное воздействие на РАС

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Попытки уменьшить чувствительность радиоастрономической антенны к нежелательным излучениям, исходящим от космических станций, вероятно повысят чувствительность радиоастрономического телескопа к земному излучению, и возможно уменьшат усиление его главного луча. Оба эти воздействия уменьшат пропускную способность канала телескопа и тем самым приведут к увеличению всего необходимого времени интеграции.

Гашение по времени и/или частоте. Гашение влечет за собой риск понижения достоверности данных и может привести к ошибкам в их научной интерпретации. Также гашение приводит к увеличению времени интеграции, необходимого для осуществления наблюдений, что соответствует потере пропускной способности канала телескопа.

6 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 608–614 МГц, и радиовещательной спутниковой службы (РСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 620–790 МГц

6.1 РАС

6.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 608–614 МГц распределена радиоастрономической службе на первичной основе в Районе 2, в Индии в соответствии с п. 5.307 Регламента радиосвязи, и в Китае в соответствии с п. 5.305 Регламента радиосвязи.

Кроме того, в соответствии с п. 5.306 Регламента радиосвязи, данная полоса частот в Районе 1, за исключением Африканской зоны радиовещания (см. пп. 5.10–5.13), и в Районе 3 распределена также радиоастрономической службе на вторичной основе.

В Районах 1 и 3 к данной полосе частот применяется п. 5.149 Регламента радиосвязи. Он призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех.

6.1.2 Тип наблюдений

Данная полоса частот используется для непрерывных (широкополосных) наблюдений как с одной параболической антенной, так и в режиме интерферометра со сверхдлинной базой (VLBI).

Требуется обеспечить необходимое покрытие спектра непрерывных наблюдений источников космических радиоизлучений, и оно находится посередине между полосами частот 406,1–410 МГц и 1400–1427 МГц, которые РАС также использует для своих нужд.

6.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Это такие пороговые уровни, выше которых радиоастрономические данные ухудшаются и в итоге могут быть потеряны. В принципе, в идеальных условиях, небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

Полоса частот 608–614 МГц используется только для непрерывных наблюдений. Для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной используется вся полоса частот шириной 6 МГц, в таком случае порог п.п.м. для вредных помех равен -185 дБ(Вт/м²).

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко разнесенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, -143 дБ(Вт/м²), для всей полосы частот 6 .

6.1.4 Эксплуатационные характеристики

Как правило, наблюдения выполняются по-разному: может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

Наблюдения в режиме VLBI производятся посредством преобразования частоты сигналов вниз к базовой полосе частот, преобразования их в цифровую форму без коррекции и записи на пленку или другой носитель информации, вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и корректируются. Следовательно, полное воздействие помех может оставаться неизвестным до тех пор, пока не закончится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

6.2 РСС

6.2.1 Распределенные полосы частот передачи

К данной полосе частот применяется п. 5.311 Регламента радиосвязи, который утверждает "В пределах полосы 620–790 МГц могут быть сделаны присвоения частот телевизионным станциям радиовещательной спутниковой службы, использующим частотную модуляцию, при условии согласования между заинтересованными администрациями и администрациями, чьи службы, работающие в соответствии с Таблицей, могут быть затронуты (см. Резолюции **33 (Пересм. ВКР-03)** и **507 (Пересм. ВКР-03)**). Такие станции не должны создавать плотность потока мощности, превышающую величину -129 дБ(Вт/м²) для углов прихода менее 20° (см. Рекомендацию **705**) на территориях других стран без согласия администраций этих стран. Применяется Резолюция **545 (ВКР-03)**".

Резолюция 545 (ВКР-03) предлагает провести исследования и до ВКР-07 разработать критерии совместного использования частот и регламентарные положения для защиты наземных служб, особенно наземных телевизионных вещательных служб, в полосе 620–790 МГц от помех, создаваемых сетями ГСО РСС и спутниковыми сетями или системами НГСО РСС, которые планируется эксплуатировать в этой же полосе частот.

6.2.2 Применение

Задачей систем РСС, которые могут использовать данную полосу частот, является предоставление услуг радиовещания на национальной или региональной основе. Полоса частот может использоваться либо геостационарными, либо негеостационарными системами РСС.

Посредством этой системы благодаря использованию высокоэффективных технологий компрессии, кодирования и мультиплексирования в условиях средств массовой информации на подвижные терминалы может быть передан большой объем информационного содержания.

6.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

Согласно требованиям Регламента, максимальный уровень п.п.м., создаваемый космической станцией на земной поверхности в полосе частот РСС 620–790 МГц и в пределах области обслуживания наземной радиовещательной станции, не должен превышать:

| | | | |
|---------------------------|------------------------|-----|--------------------------------|
| -129 | дБ(Вт/м ²) | для | $\delta \leq 20^\circ$ |
| $-129 + 0,4(\delta - 20)$ | дБ(Вт/м ²) | для | $20^\circ < \delta < 60^\circ$ |
| -113 | дБ(Вт/м ²) | для | $60^\circ < \delta < 90^\circ$ |

где δ - угол наклона траектории (см. Рекомендацию 705).

6.2.4 Эксплуатационные характеристики

6.2.4.1 Негеостационарные системы РСС

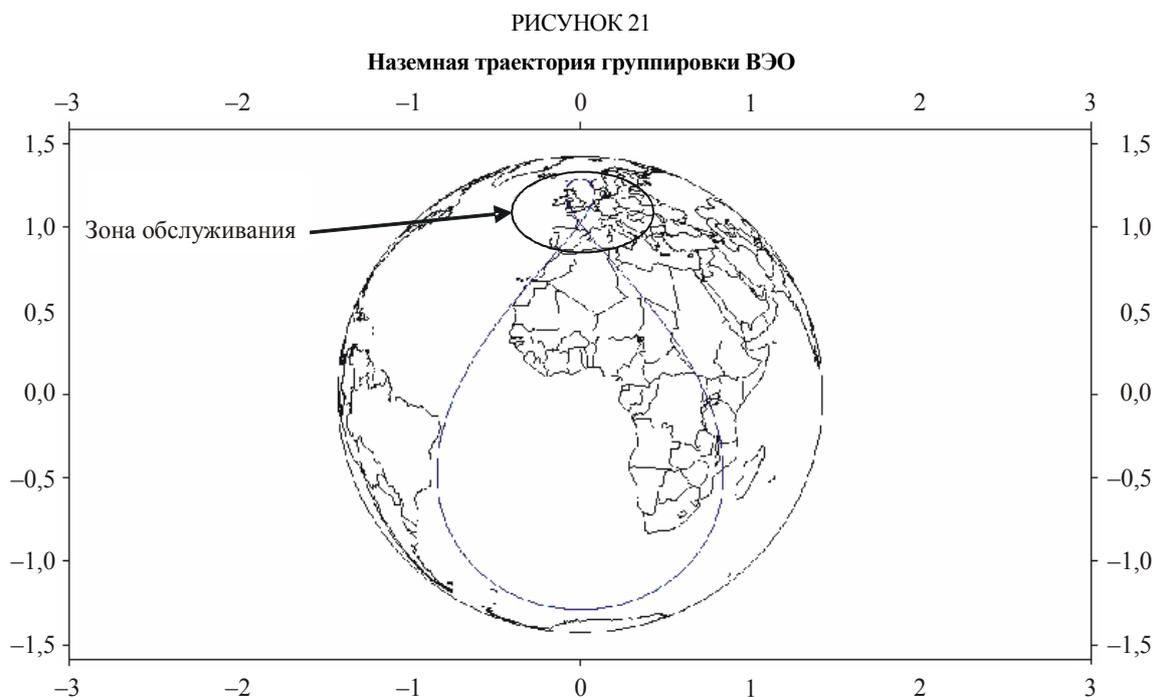
6.2.4.1.1 Параметры группировки

Рассматриваемая в данном исследовании система будет использовать спутники на высокоэллиптических орбитах (ВЭО). Параметры группировки оптимизированы так, чтобы обеспечить условия достаточной видимости любому пользователю в пределах зоны обслуживания. Пример, приведенный ниже, иллюстрирует группировку Tundra, которая покрывает западноевропейские страны тремя спутниками, обращающимися по орбите с периодом 24 часа:

– Большая полуось: 42 164 км

- Эксцентриситет: 0,2684
- Наклонение: 63,4°
- Аргумент перигея: 270°
- Прямое восхождение восходящего узла: 110°, 230° и 350°
- Средняя аномалия: 340°, 220° и 100°

На Рисунке 21 показана траектория движения спутника по Земной поверхности.



Отчет 2091-21

6.2.4.1.2 Периоды активности спутника

Данный спутник, имеющий орбитальные параметры группировки ВЭО, находится в пределах видимости зоны обслуживания с углом места больше 60° в течение только 1/3 времени:

- В течение орбитального периода, равного 24 часам, в зоне обслуживания с углом места больше 60° спутник будет непрерывно виден в течение 8 часов, после чего 16 часов будет в состоянии "невидимости".
- На время 16 часовых периодов "невидимости" спутники будут запрограммированы в неактивное состояние. Это значит, что в каждый момент времени вести передачи в зону обслуживания будет только один спутник.

6.2.4.1.3 Спутниковая антенна и управление мощностью

Уровень п.п.м. на земле будет поддерживаться постоянным, вне зависимости от времени и местоположения приемника в пределах зоны обслуживания. Для того чтобы добиться этого, настройки спутниковой антенны должны будут отвечать некоторым требованиям во время активных периодов передачи:

- *Передача с постоянным потоком во всей зоне обслуживания*
На спутнике будет использоваться антенна с постоянным потоком, для того, чтобы оптимизировать требования по мощности и справиться с ограничениями п.п.м. в зоне обслуживания. Это значит, что усиление антенны в пределах зоны обслуживания будет таким, что уровень п.п.м. на земной поверхности будет оставаться постоянным вне зависимости от положения передатчика в пределах зоны обслуживания.

– *Масштабирование луча*

Телесный угол, под которым спутник видит зону обслуживания, будет изменяться со временем, как функция его высоты. Чтобы противостоять этому "эффекту масштабирования" и уменьшить общие требования по мощности, спутник также будет регулировать мощность и форму своего луча, как функцию своей высоты.

6.2.4.2 Геостационарные орбиты

Существуют два геостационарных спутника, зарегистрированных в MIFR. Они принадлежат Российской Федерации и называются "Стационар".

Параметры спутников "Стационар" принимались во внимание при изучении совместимости, чтобы оценить воздействие планируемых к вводу в эксплуатацию систем со схожими характеристиками, и приведены в Таблице 11.

ТАБЛИЦА 11

Параметры спутников "Стационар"

| Название | "Стационар-Т1" | "Стационар-Т2" |
|---|------------------|------------------------|
| Долгота (градусы) | 99 | 99 |
| Частота несущей (МГц) | 714 | 754 |
| Полоса частот (МГц) | 24 | 24 |
| Пиковая мощность (дБВт) | 23 | 21,5 |
| Пиковая мощность (дБ(Вт/Гц)) | -51 | -52,3 |
| Максимальное усиление антенны (дБи) | 34 | 33,5 |
| Позиция центра площади проекции ДНА (градусы) | $L = 91; l = 73$ | $L = 95,24; l = 69,16$ |
| Угол между линией визирования геостационарных спутников и направления от геостационарного спутника к РА станции (градусы) | 8,7 | 4,4 |
| Усиление антенны по направлению к наиболее уязвимой РА станции (дБи) | 27,5 | 13,5 |
| Э.и.и.м. в полосе частот активной службы по направлению к наиболее уязвимой радиоастрономической станции (дБ(Вт/Гц)) | -23,5 | -38,8 |

6.3 Порог совместимости**6.3.1 Негеостационарные системы**

В случае негеостационарных группировок пороговый уровень э.п.п.м., равный -241 (дБ(Вт/м²)), может быть выведен для полосы частот 608–614 МГц из указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.769 порогового уровня п.п.м. для помех, вредных для радиоастрономических наблюдений, и максимального усиления радиоастрономической антенны, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.1631, который для данной полосы частот равен 56 дБи.

6.3.2 Геостационарные системы

В Рекомендации МСЭ-R RA.769 приводятся пороговые уровни помех, вредных для непрерывных (широкополосных) радиоастрономических наблюдений. Они сведены в Таблицу 12.

ТАБЛИЦА 12
Критерии защиты радиоастрономии

| Полоса частот активных служб (МГц) | Активная служба | Полоса частот пассивных служб (МГц) | Максимальная принимаемая мощность (RA.769) (дБВт) | Уровень п.п.м. (RA.769) (дБ(Вт/м ²)) | Уровень spfd (RA.769) (дБ(Вт/(м ² · Гц))) |
|------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|---|--|--|
| 620–790 | RCC | 608–614 | –202 | –185 | –253 |

6.4 Оценка помех

6.4.1 Негеостационарные системы

6.4.1.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

В Рекомендации МСЭ-R M.1586 представлена методика оценки уровня нежелательных излучений для радиоастрономических станций, создаваемых негеостационарной системой. Она основана на разделении неба на ячейки с примерно одинаковым размером, и на статистическом анализе, где линия визирования антенны РАС и стартовое время спутниковых группировок являются случайными переменными. Для каждого измерения уровень нежелательных излучений, выраженный в э.п.п.м., усреднен по периоду 2000 с.

В случае систем ВЭО вычисления значительно упрощены, так как в каждый момент только один спутник ведет передачу в сторону Земли.

6.4.1.2 Вычисление уровня помех

Исследования показывают, что совместимость между нежелательными излучениями от ВЭО систем RCC, работающих в полосе частот 620–790 МГц, и службой РАС, работающей в полосе частот 608–614 МГц, может быть достигнуто, если уровень п.п.м., излучаемой спутником ВЭО RCC на любую станцию РАС, ниже –188 дБ(Вт/м²) во всей полосе частот радиоастрономической службы.

Данный уровень гарантирует, что потери данных на станции РАС в пределах участка неба, на котором радиоастрономическая станция осуществляет наблюдение, учитывая, что минимальный угол места θ_{min} , при котором радиоастрономическая станция осуществляет наблюдения в полосе частот, как указано в Таблице А Приложения 2 к Приложению 4 РР, будет менее 2%.

На Рисунке 22 для радиоастрономической станции Jodrell Bank (Великобритания) для каждого участка неба показано количество измерений продолжительностью 2000 с, в течение которых превышался критерий э.п.п.м.. Общее количество измерений на участок равно 30, вертикальная шкала справа представляет собой количество измерений на участок, для которых превышался критерий э.п.п.м.. Например, на Рисунке 22 показано, что если радиотелескоп имеет азимут 350° и угол места от 84° до 87° (см. соответствующую ячейку на Рисунке 22), то все выполненные наблюдения будут подвергаться помехам, превосходящим уровень вредных помех, указанный в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

6.4.2 Геостационарные системы

Для исследований, описываемых в последующих подразделах,

- Все характеристики станций РАС взяты с веб-сайта <http://www.astron.nl/craf/raobs.htm>. Они расположены в странах СЕРТ.
- Все характеристики геостационарных спутников взяты из MIFR МСЭ.

На Рисунках 23 и 24 показано, где располагается наиболее чувствительная радиоастрономическая станция и ослабление ниже максимального усиления антенны по направлению к ней.

РИСУНОК 22

Результаты моделирования для станции Jodrell Bank

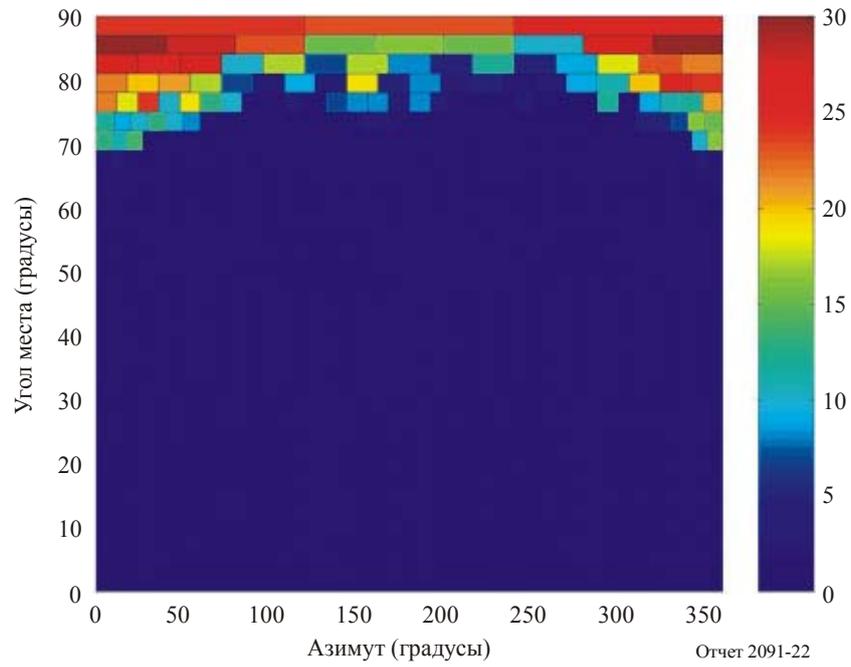


РИСУНОК 23

"Стационар-Т"

Станции РА и геостационарные (ГСО) спутники в полосе частот 608-614 МГц

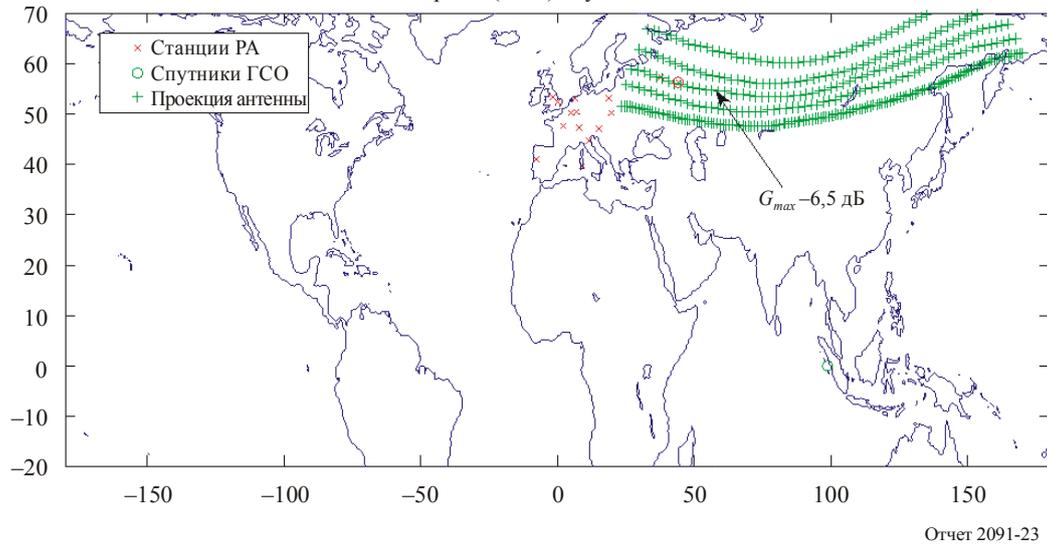
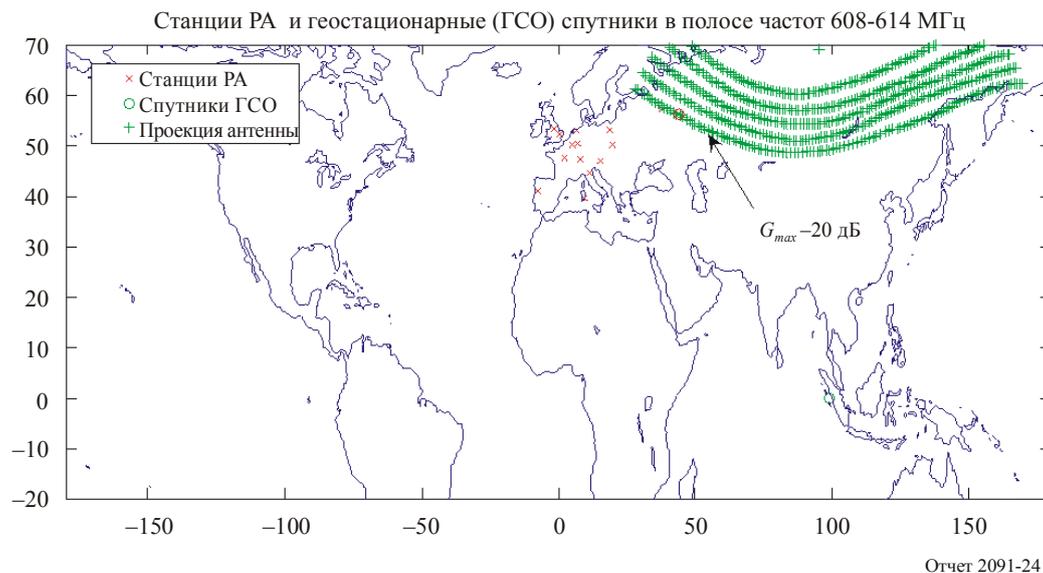


РИСУНОК 24
"Стационар-Т2"



Принимая во внимание разные точки стояния геостационарных спутников и наиболее чувствительных радиоастрономических станций, допустимая э.и.и.м. в полосе частот РАС вычисляется так, чтобы она соответствовала критерию защиты.

В результате может быть вычислен коэффициент затухания ОоВ как разница между э.и.и.м. геостационарного спутника активной службы и максимально допустимой э.и.и.м. в пределах полосы частот пассивной службы.

Соответствие данного коэффициента необходимого затухания к данным, соответствующим применяемым Рекомендациям МСЭ-R, например, ограничениям Приложения 3 РР, может завершить оценку помех.

6.4.3 Полученные результаты

6.4.3.1 Негеостационарные системы

Значение уровня нежелательных излучений, равное $-188 \text{ дБ(Вт/м}^2\text{)}$, соответствует ослаблению на 74 дБ п.п.м., излучаемой спутником ВЭО РСС на Земную поверхность в полосе частот 6 МГц, в предположении, что максимальный уровень п.п.м., излучаемой ВЭО системой РСС в полосе частот 620–790 МГц, равен $-113 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 8 \text{ МГц))}$, что соответствует максимальному уровню, указанному в Рекомендации 705.

6.4.3.2 Геостационарные системы

Значения э.и.и.м., указанные в Таблице 12, получены из пороговых уровней п.п.м., приведенных в Таблице 12 (последний столбец), с учетом потерь в свободном пространстве.

ТАБЛИЦА 13
Максимально допустимая э.и.и.м. на спутнике в полосе частот РАС

| Полоса частот активных служб (МГц) | Полоса частот пассивных служб (МГц) | Максимальная э.и.и.м. в полосе частот РАС (дБ(Вт/Гц)) | Максимальная э.и.и.м. в полосе частот РАС (дБВт) |
|------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| 620–790 | 608–614 | -92 | -24 |

С учетом Таблиц 10 и 12, коэффициент затухания для "Стационара-Т" должен быть больше 69 дБ (92–23,5 дБ), а для "Стационара-Т2"—больше 53 дБ (92–38,8 дБ). Нежелательные излучения, попадающие в полосу частот РАС, находятся в области побочных излучений.

Положения Регламента радиосвязи для РСС, указанные в Таблице II Приложения 3 РР, определяют ослабление максимально допустимого уровня мощности излучения, который больше минимального значения на величину от 60 дБс до $43 + 10 \log P$. Р означает среднюю мощность в Ваттах. В таком случае коэффициент ослабления будет равен 60 дБс.

Принимая во внимание уровни, указанные в Приложении 3 РР, нежелательные излучения, создаваемые спутником "Стационар" станциям РАС в странах СЕРТ, будут превышать пороговый уровень, указанный в Рекомендации МСЭ-R RA.769 на величину до 10 дБ. Однако опыт показал, что уровни, указанные в Приложении 3 РР очень высоки, и что побочные излучения реальных систем намного до (20 дБ) ниже этих уровней (см. КОСПАС-САРСАТ). Поэтому считается, что пороговый уровень, указанный в Рекомендации МСЭ-R RA.769, в этой конкретной полосе частот может быть достигнут аналогичными системами, со схожими характеристиками, предполагаемыми к эксплуатации в будущем.

6.5 Методы ослабления помех

6.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

6.5.2 Возможное воздействие на РАС

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Попытки уменьшить чувствительность радиоастрономической антенны к нежелательным излучениям, исходящим от космических станций, вероятно повысят чувствительность радиоастрономического телескопа к земному излучению и возможно уменьшат усиление его главного луча. Оба эти воздействия уменьшат пропускную способность канала телескопа и тем самым приведут к увеличению всего необходимого времени интеграции.

Гашение по времени и/или частоте. Гашение влечет за собой риск понижения достоверности данных и может привести к ошибкам в их научной интерпретации. Также гашение приводит к увеличению времени интеграции, необходимого для осуществления наблюдений, что соответствует потере пропускной способности канала телескопа.

7 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосах частот 1400–1427 МГц, и 1610,6–1613,8 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) со спутниками на негеостационарной орбите (космос-Земля), работающей в полосе частот 1525–1559 МГц

7.1 РАС

7.1.1 Распределенные полосы частот

Полоса частот 1400–1427 МГц распределена только пассивным службам на первичной основе: РАС, ССИЗ (пассивной), и службе космических исследований (СКИ) – пассивной. В настоящем Приложении рассматривается только случай для радиоастрономии.

П. 5.340 Регламента радиосвязи запрещает все излучения в данной полосе частот.

Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц распределена на первичной основе радиоастрономической службе совместно с другими активными службами, такими, как ПСС или воздушная радионавигационная служба.

П. 5.149 Регламента радиосвязи призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех в данной полосе частот.

7.1.2 Тип наблюдений

7.1.2.1 Полоса частот 1400–1427 МГц

Во всех Районах МСЭ-R полоса частот 1400–1427 МГц используется более интенсивно, чем любая другая. Основным вариантом использования этой полосы частот для целей радиоастрономии является наблюдение спектральной линии космического нейтрального атомного водорода (также известного, как HI), который имеет собственную частоту 1420,406 МГц. Этот элемент, безусловно, является главной составляющей нашей и других галактик и встречается в виде больших, облаков комплексной структуры. Данная линия наблюдается и в режиме излучения, и в режиме поглощения, она расширяется и сдвигается по частоте в результате сдвига Доплера из-за локальных и крупных передвижений в облачных структурах. Соответственно, наблюдения HI могут использоваться для нанесения на карты распределения материала и его движения в нашей и других галактиках. Таким образом, мы можем нанести на карту структуру нашей галактики и движение материала.

Полоса частот 1400–1427 МГц достаточно широка, чтобы охватывать излучения с доплеровским сдвигом из облаков нашей или близлежащих галактик. Измерения поляризации излучения или поглощения HI дают важную информацию о галактических магнитных полях, а, следовательно, помогают расширить знания о структуре галактики.

Также полоса частот 1400–1427 МГц используется для непрерывных (широкополосных) наблюдений излучений, создаваемых горячей плазмой, формирующейся, когда звезды нагревают окружающие облака, а также в результате взаимодействия высокоэнергетических электронов в галактическом магнитном поле (синхротронное излучение).

7.1.2.2 Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц

Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц используется для наблюдений спектральной линии OH (молекулы радикала гидроксила). Линия OH, которая имеет частоту 1612 МГц, является одной из наиболее важных спектральных линий для радиоастрономии, что и отмечено в Рекомендации МСЭ-R RA.314. Радикал OH был первым космическим радикалом, обнаруженным на радиочастотах (1963 г.), и все еще остается мощным инструментом исследований. Радикал OH создает четыре спектральные линии на частотах примерно 1612, 1665, 1667 и 1720 МГц, и все они наблюдались как в нашей, так и в других галактиках. Изучение линий OH дает информацию о широком спектре астрономических явлений, например об образовании протозвезд и эволюции звезд. Для толкования большинства наблюдений, сделанных в линиях OH, необходимо измерить относительную напряженность некоторых из этих линий. Потери возможности наблюдения любой из этих линий может помешать изучению некоторых классов физических явлений.

Эти линии ОН вырабатываются когерентным процессом, в котором концентрация радикалов ОН излучается "в такт", создавая узкополосное излучение. Они немного расширяются из-за физических условий в данной концентрации. Движения этих концентрированных масс относительно Земли влечет за собой доплеровский сдвиг линейного излучения. Наличие в источнике нескольких концентраций, которые движутся с разными скоростями, создает более сложный спектр, состоящий из нескольких профилей наложенных друг на друга гауссовских линий разной ширины и амплитуды, и немного различающихся по частоте (из-за разных доплеровских сдвигов). Распределение полосы частот такой ширины требуется для того, чтобы учесть расширение и сдвиг спектра из-за дифференциального и суммарного движения источника.

На некоторых этапах своей эволюции определенные классы звезд излучают только линию с частотой 1612 МГц. Изучение такой линии позволяет астрономам измерять такие физические свойства данных звезд, как интенсивность, с которой газ извергается звездами и переходит в межзвездную среду. Некоторые свойства этих звезд не могут быть получены в результате любых других астрономических наблюдений. Измерение ОН излучающих звезд также использовались для измерения расстояния до центра галактики, для измерения массы центрального эксцентриситета нашей галактики, для изучения пространственного распределения молекулярных компонентов нашей галактики в других галактиках. Наконец, было зафиксировано чрезвычайно мощное мазерное излучение около ядер некоторых галактик. Данное мегамазерное излучение от галактических ядер позволяет астрономам изучать температуру и плотность молекулярного газа в их центре.

Спектральная линия ОН также наблюдается в кометах, расписание наблюдений таких "случайных целей" допускает очень небольшую гибкость.

Наблюдения спектральных линий выполняются при помощи спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих частотных каналах (обычно 256–4096), распределенных по используемой полосе частот. Ширина и количество каналов должны быть достаточно большими, чтобы точно воспроизводить спектр излучений, принятых радиотелескопом. Используются мгновенные значения ширины полосы частот – обычно ~0,2–20 кГц на частотный канал, в зависимости от научной программы.

Источники невелики, и измерения их величины и структуры часто требуют наблюдений с использованием методов VLBI.

7.1.3 Необходимые критерии защиты

7.1.3.1 Полоса частот 1400–1427 МГц

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Это такие пороговые уровни, выше которых радиоастрономические данные ухудшаются и, в итоге, могут быть потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не даст эффекта в плане доставки достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

В полосе частот 1400–1427 МГц наблюдения спектральной линии с использованием одной параболической антенны выполняются с полосой пропускания канала (одного из каналов спектрометра) 20 кГц, пороговый уровень п.п.м. вредного излучения равен -196 дБ(Вт/м²). Для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной используется вся полоса частот шириной 27 МГц, в этом случае пороговый уровень вредного излучения равен -180 дБ(Вт/м²).

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот -166 дБ(Вт/м²), для всей полосы частот 20 .

7.1.3.2 Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц

В полосе частот 1610,6–1613,8 МГц для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны с полосой пропускания (одного из каналов спектрометра) шириной 20 кГц, порог п.п.м. для вредных помех составляет -194 дБ(Вт/м²).

7.1.4 Эксплуатационные характеристики

Полоса частот 1400–1427 МГц является наиболее часто используемой в радиоастрономии полосой частот. Она используется во всем мире, во всех Районах МСЭ, и некоторые радиотелескопы, такие, как Synthesis Radio Telescope в Радиоастрофизической обсерватории Доминиона (DRAO), Пентиктон, Канада, постоянно ведут наблюдение в данной полосе частот. Радиотелескопы с одной антенной используются для измерений интегрированной спектральной плотности потока мощности (spfd) источников малого углового диаметра и для нанесения на карты структур большого углового размера, которые не могут быть нанесены на карты при помощи телескопов с синтетической апертурой.

Наблюдения в полосе частот 1612 МГц выполняются в некоторых астрономических обсерваториях в некоторых странах мира. Наблюдения в полосе частот 1612 МГц иногда ведутся за случайными целями, например, кометами, которые создают кратковременные излучения на этой спектральной линии. В этой полосе частот также производятся наблюдения в режиме VLBI, между Североамериканскими и Европейскими сетями.

Более высокая угловая разрешающая способность, получаемая благодаря телескопам с синтетической апертурой, дает возможность нанесения на карты более тонких структур в облаках водорода и источников непрерывных излучений, таких, как остатки вспышек сверхновых. Затем эти карты объединяются с картами более низкого разрешения, полученными с помощью радиотелескопов с одной антенной, чтобы получить 3-D изображения высокого качества нашей и других галактик. Радиотелескопам с синтетической апертурой, в которых применяется многоантенная матрица, для создания полной карты данного сектора неба может потребоваться "экспозицию" от одного до 12 часов.

Чтобы облегчить нанесение на карты сравнительно больших структур источников, некоторые радиотелескопы с синтетической апертурой, такие, как инструмент DRAO, используют матрицы сравнительно небольших антенн. Инструменты такого рода не имеют возможности оптимального подавления боковых лепестков и поэтому уязвимы для помех.

Наблюдения спектральных линий выполняются с помощью многоканальных спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих (обычно от 256 до 4096) частотных каналах, распределенных по полосе частот. Количество каналов и их индивидуальная ширина полосы выбираются так, чтобы в должной степени отражать спектр излучения от облака(ов) водорода в луче антенны.

Как правило, наблюдения производятся по-разному. В случае наблюдений непрерывных излучений на карте может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

В случае наблюдения спектральной линии производится запись спектров в полосах частот, включая представляющие интерес линейные излучения (линейчатый спектр), а затем на частоте, отстоящей от линейчатых излучений, или на той же частоте, но на близлежащей позиции в небе (эталонный спектр). Путем вычитания эталонного спектра из линейного спектра, из данных могут быть удалены элементы нежелательного шума и другие примеси.

Поскольку галактика заполнена облаками нейтрального водорода, радиотелескопы замечают не только излучение и поглощение в облаках, попадающих в главный луч антенны, но еще и значительный объем составляющих, попадающих в боковые лепестки антенны. Данное "побочное излучение" искажает спектр и уменьшает детализацию карты. Удаление его из данных требует крупномасштабных измерений всего луча антенны, насколько это возможно, и оценки коррекции побочных излучений. Поэтому помехи и большие "заблокированные" участки неба будут влиять на возможность нанесения на карты участков неба, находящихся под большими углами от источников помех.

Расширенная зона радиоизлучения может быть отображена при помощи записи излучения сетки точек, покрывающих интересующую зону. Могут выполняться, как непрерывные наблюдения, так и наблюдения спектральной линии. В случае радиотелескопов с одной антенной каждое наблюдение с сеткой точек является отражение всей мощности (в случае континуума) или спектра излучения (в случае спектральной линии), исходящих из данной позиции в небе; промежуток между точками в сетке не должен превышать половины ширины диаграммы направленности антенны. Когда наблюдения производятся с помощью радиотелескопа с синтетической апертурой, там, где область, отображаемая на карте, выходит за границы мгновенной зоны нанесения на карты, точки сетки не должны отстоять друг от друга более чем на половину ширины диаграммы направленности одной из антенн радиотелескопа.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки, и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

7.2 ПСС

7.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Для передачи (космос-Земля) распределена полоса частот 1525–1559 МГц.

В п. 5.356 Регламента радиосвязи сказано, что "Использование полосы 1544–1545 МГц подвижной спутниковой службой (космос-Земля) ограничивается связью при бедствии и для обеспечения безопасности (см. Статью 31)".

7.2.2 Применение

Полосы частот 1525–1544 МГц и 1545–1559 МГц используются только геостационарными системами из-за характеристик антенн земных станций ПСС (всенаправленная антенна), для негеостационарных систем будет трудно использовать данные полосы частот. Однако в Рекомендации МСЭ-R M.1184 приводятся характеристики негеостационарных систем, могущих использовать данные полосы частот.

Полоса частот 1544–1545 МГц в течение многих лет используется глобальной спутниковой системой поиска и спасения КОСПАС-САРСАТ. КОСПАС-САРСАТ – это спутниковая система, предназначенная для передачи сигналов бедствия и данных о местоположении для помощи в операциях по поиску и спасению (SAR), использующая космические и наземные установки для обнаружения и пеленгации сигналов аварийных радиомаяков, работающих на частотах 406 МГц или 121,5 МГц. Негеостационарные спутники (система ЛЕОСАР) передают сигналы на частоте 121,5 МГц, а так же данные, полученные из сигналов на частоте 406 МГц, на частоте 1544,5 МГц для обработки на Земле.

7.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

Уровень необходимого ослабления составляет $43 + 10 \log P$ дБс или 60 дБс, в зависимости от того, какой из них менее строгий, где P – это пиковая мощность на входе антенны (Вт) в любой полосе шириной 4 кГц.

7.2.4 Эксплуатационные характеристики

7.2.4.1 Система G службы ПСС на основе Рекомендации МСЭ-R M.1184

ТАБЛИЦА 14

Технические характеристики негеостационарных систем подвижной спутниковой службы (прямая линия служебной связи)

| Параметр системы | Система G | |
|---|-----------------|-------------------|
| | Линия 1 | Линия 2 |
| <i>Поляризация</i> | | |
| Фидерная линия | LHCP | LHCP |
| Линия служебной связи | RHCP | RHCP |
| Направление передачи | Космос-Земля | Космос-Земля |
| <i>Частотные полосы частот (ГГц)</i> | | |
| Фидерная линия | 14 | 14 |
| Служебная | 0,4 | 1,5 |
| Орбита | Круговая | Круговая |
| Высота (км) | 1 500 | 1 500 |
| Разнос между спутниками (градусы) | 30 | 30 |
| Количество спутников | 48 | 48 |
| Плоскости орбиты | 4 | 4 |
| Угол наклона (градусы) | 74 | 74 |
| <i>Спутниковые антенны</i> | | |
| Количество лучей (линия служебной связи) | 1 | 6 |
| Размер луча (км ²) | 5×10^7 | $8,4 \times 10^6$ |
| Средние уровни боковых лепестков (дБ) | -3 | -2 |
| Повторное использование частоты луча | 1 | 0,6 |
| <i>Характеристики элемента</i> | | |
| Максимальная э.и.и.м./луч (дБВт) | -2 | 2,8 |
| Среднее усиление/луч (дБи) | 3 | 13 |
| э.и.и.м./несущая (дБВт) | -15 | -7,2 |
| Чистая э.и.и.м. пользователя (дБВт) | Не применимо | Не применимо |
| Э.и.и.м. пользователя с помехами (дБВт) | Не применимо | Не применимо |
| Э.и.и.м./канал CDMA (дБВт) | -5 | -10,2 |
| Пользовательский G/T (дБ(К ⁻¹)) | -23,8 | -14 |
| Максимальный угол места (градусы) | 7 | 10 |
| <i>Параметры передачи</i> | | |
| Модуляция | QPSK | QPSK |
| Кодирование | FEC | FEC |
| Схема доступа | FDMA/CDMA | FDMA/CDMA |
| Схема дуплексирования | Полная | Полная |
| Длина кадра(мс) | Не применимо | Не применимо |
| Скорость передачи пакетов (кбит/с) | Не применимо | Не применимо |

7.2.4.2 КОСПАС-САРСАТ

Хотя стандартная группировка ЛЕОСАР включает в себя только четыре спутника (два КОСПАС и два САРСАТ), при исследовании принимались во внимание два российских спутника с полезной нагрузкой КОСПАС: "Надежда-1" и "Надежда-6", а так же пять американских спутников с полезной нагрузкой САРСАТ: NOAA-14 – 18. В Таблице 15 приведены орбитальные характеристики данных спутников.

ТАБЛИЦА 15
Характеристики спутников в системе КОСПАС САРСАТ

| Название оборудования | Название спутника | Дата запуска | Высота (км) | Наклон (градусы) | Средняя аномалия (градусы) | RAAN (градусы) |
|-----------------------|-------------------|--------------|-------------|------------------|----------------------------|----------------|
| КОСПАС-4 | "Надежда-1" | 1989 | 1 000 | 82,96 | 302 | 151 |
| КОСПАС-9 | "Надежда-6" | 2000 | 689 | 98,38 | 131 | 219 |
| САРСАТ-6 | NOAA-14 | 1994 | 863 | 99,08 | 204 | 289 |
| САРСАТ-7 | NOAA-15 | 1998 | 825 | 98,51 | 213 | 245 |
| САРСАТ-8 | NOAA-16 | 2000 | 862 | 99,02 | 134 | 198 |
| САРСАТ-9 | NOAA-17 | 2002 | 824 | 98,65 | 155 | 312 |
| САРСАТ-10 | NOAA-18 | 2005 | 868 | 98,75 | 22 | 184 |

Описание оборудования можно найти на веб-сайте: <http://www.КОСПАС-САРСАТ.org/DocumentsTSeries/T3OCT03.pdf>. Данный документ содержит описание уровня побочных излучений и диаграммы направленности антенны систем КОСПАС и САРСАТ.

7.2.4.2.1 КОСПАС

На Рисунке 25 показан обычный спектр сигнала КОСПАС в пределах распределенной полосы частот. Уровень побочных излучений ограничен –60 дБВт. Тем не менее, эталонная полоса частот не указана. На Рисунке 26 показана диаграмма направленности антенны КОСПАС на линии "космос-Земля".

РИСУНОК 25
Спектр сигнала КОСПАС 1544,5 МГц

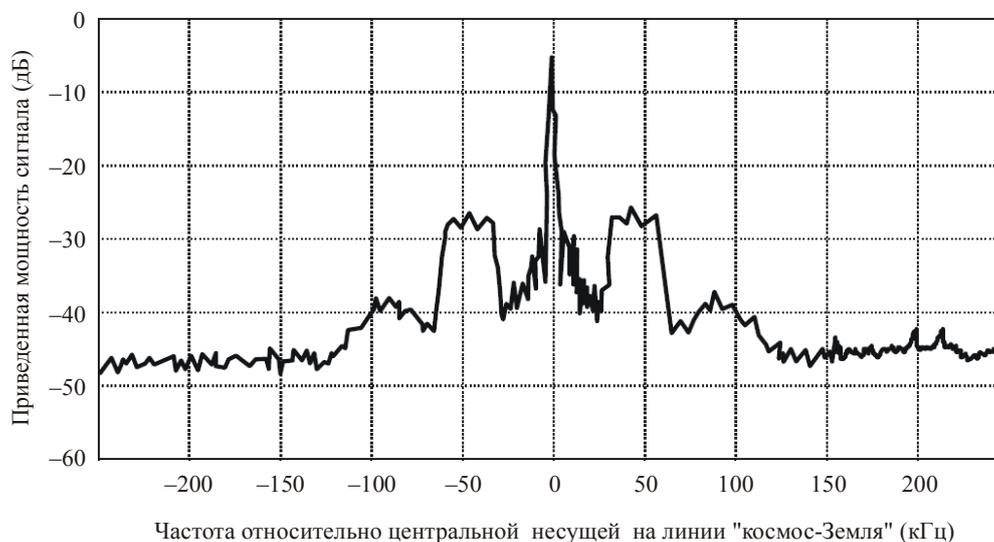
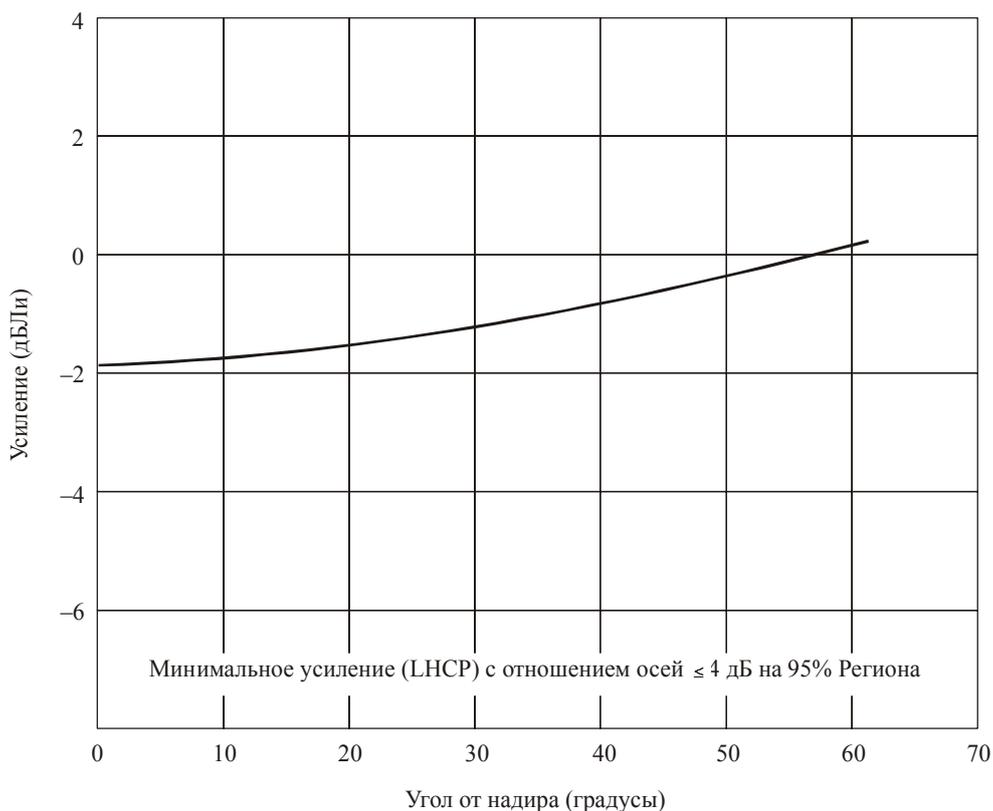


РИСУНОК 26

Диаграмма направленности антенны системы КОСПАС



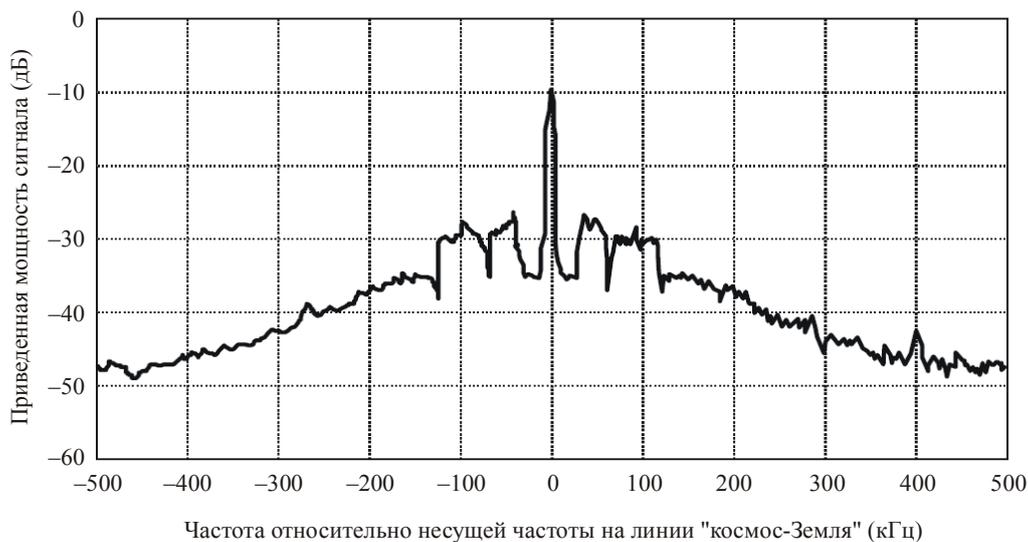
Отчет 2091-26

7.2.4.2.2 САРСАТ

На Рисунке 27 изображен обычный спектр сигнала САРСАТ в пределах распределенной полосы частот. Уровень нежелательных излучений системы САРСАТ ограничен масками, изображенными на Рисунках 28 и 29 для дискретных и шумоподобных излучений, соответственно. Однако не указана эталонная полоса частот для конкретного случая. На Рисунке 30 изображена диаграмма направленности антенны системы САРСАТ линии "космос-Земля".

РИСУНОК 27

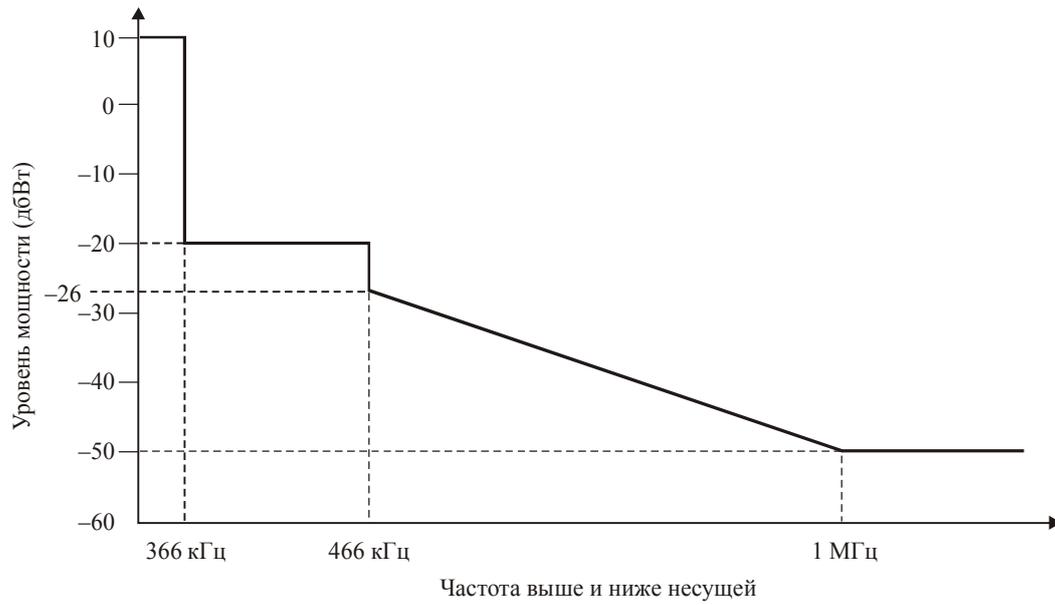
Спектр сигнала системы САРСАТ 1544,5 МГц



Отчет 2091-27

РИСУНОК 28

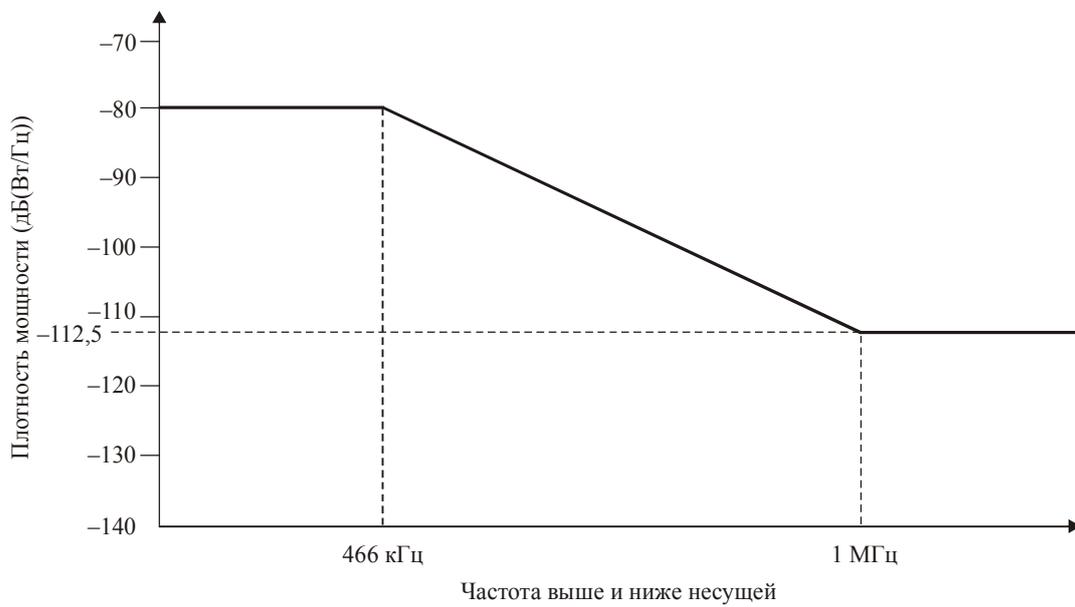
Отдельные ограничения нежелательных излучений



Отчет 2091-28

РИСУНОК 29

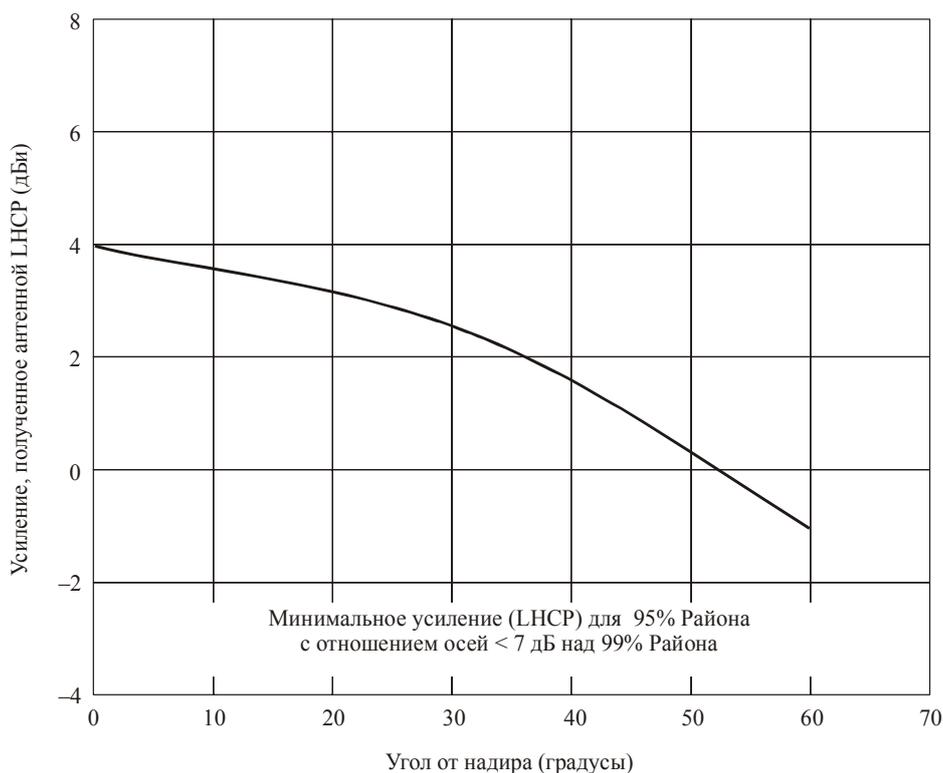
Ограничения нежелательного шумоподобного излучения



Отчет 2091-29

РИСУНОК 30

Диаграмма направленности антенны CAPSAT



Отчет 2091-30

7.3 Порог совместимости

Для негеостационарных группировок значение порога э.п.п.м. может быть выведено из значения порога, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.769, и максимального усиления антенны, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.1631, которое для данной полосы частот составляет 63 дБи. Следовательно, значение порога э.п.п.м. для полосы частот 1400–1427 МГц равно -243 (дБ(Вт/м²)) во всей полосе частот 1400–1427 МГц для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной, и равно -259 (дБ(Вт/м²)) в любой полосе шириной 20 кГц полосы частот 1400–1427 МГц для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны и -258 (дБ(Вт/м²)) в любой полосе шириной 20 кГц полосы частот 1610,6–1613,8 МГц для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны.

7.4 Оценка помех

7.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

В Рекомендации МСЭ-R M.1583 представлена методика расчета уровней нежелательных излучений, создаваемых негеостационарной системой в точках размещения радиоастрономических обсерваторий. Она основана на разделении неба на ячейки с примерно равными размерами, и на статистическом анализе, где линия визирования антенны РАС и стартовое время спутниковых группировок являются случайными переменными. Для каждого измерения уровень нежелательных излучений, выраженный в э.п.п.м., усреднен по периоду 2000 с.

Диаметр антенны РАС равен 100 м, что соответствует максимальному усилению антенны, равному примерно 63 дБи в полосе частот 1400–1427 МГц и 64 дБи – в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц. Диаграмма направленности антенны и максимальное усиление антенны взяты из Рекомендации МСЭ-R RA.1631.

Географические координаты выбранной станции:

Широта: 46,9° Долгота: 2,4°

С целью получения наиболее общих результатов, моделирование было проведено со значением угла места, равным 0° .

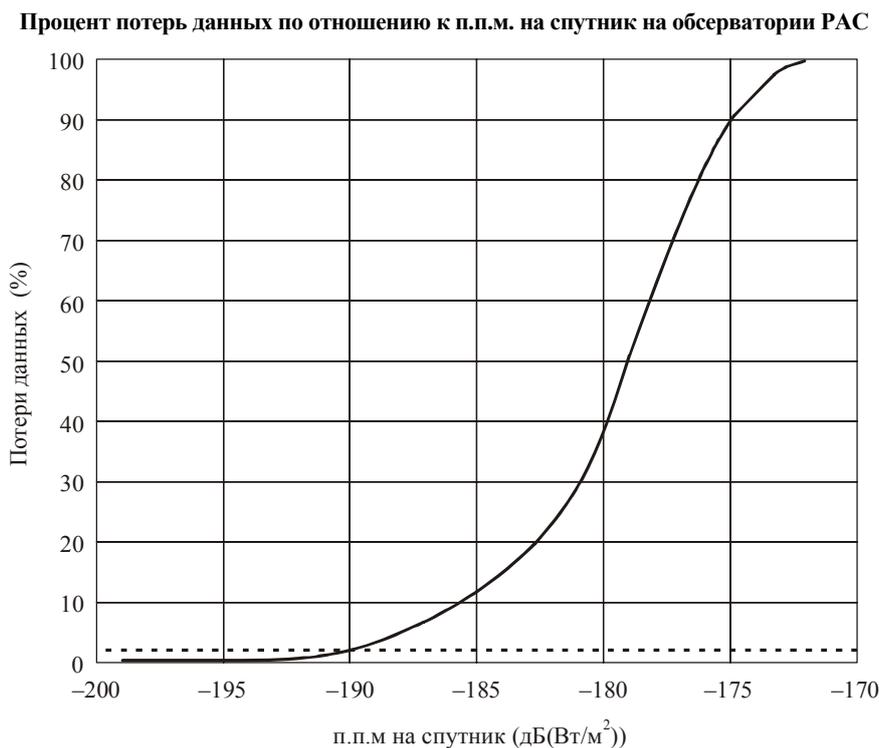
7.4.2 Вычисление уровня помех

7.4.2.1 Непрерывные наблюдения в полосе частот 1400–1427 МГц

7.4.2.1.1 Система G ПСС на основе Рекомендации МСЭ-R M.1184

На Рисунке 31 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической обсерватории превышает порог э.п.м., для определенного значения п.п.м. на спутник ПСС (как объясняется в Рекомендации МСЭ-R RA.1513, превышение данного порога равнозначно потере данных).

РИСУНОК 31



Отчет 2091-31

Для того чтобы пороговый уровень э.п.м. не превышался в течение более 98% времени в среднем по всему небу, каждый спутник системы G службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -190 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 32 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.м., для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -190 дБ(Вт/м²).

Азимут равен 0° по направлению к северу и увеличивается с запада на восток.

7.4.2.1.2 КОСПАС-САРСАТ

На Рисунке 32 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.м. для указанных значений п.п.м. на спутник (как объясняется в Рекомендации МСЭ-R RA.1513, превышение данного порога равнозначно потере данных).

РИСУНОК 32

Процент потерь данных для значения п.п.м., равного -190 дБ(Вт/м²), на обсерватории РАС

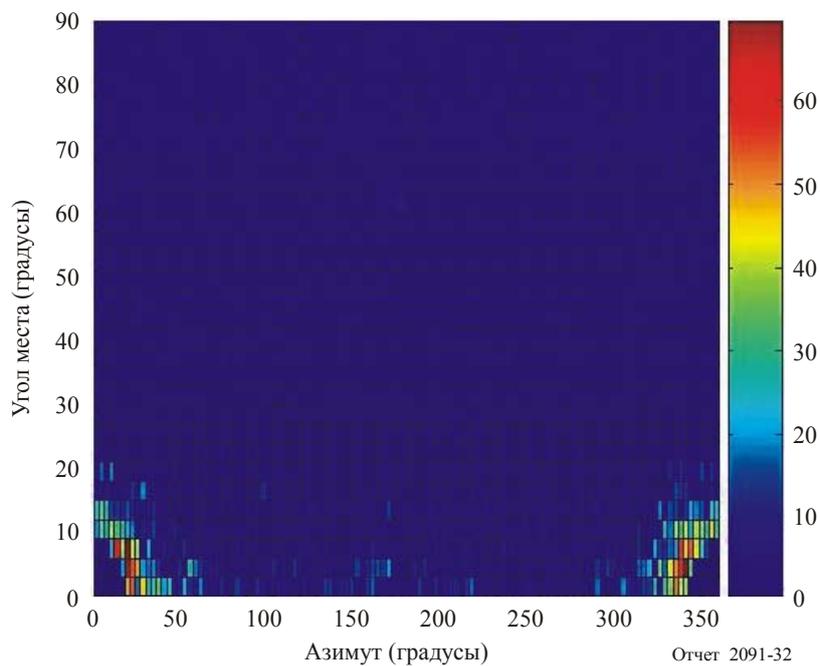
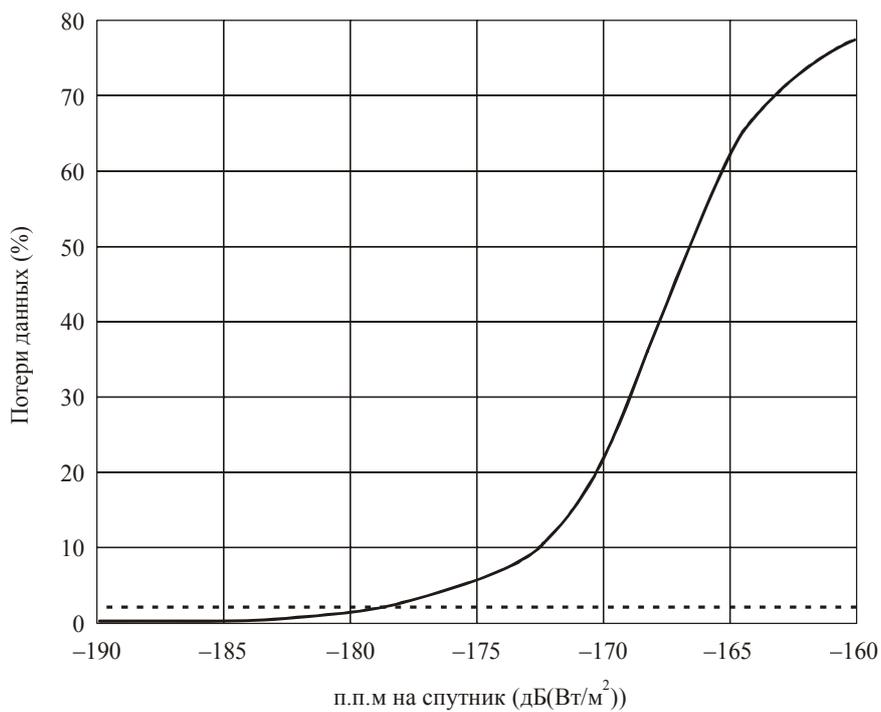


РИСУНОК 33

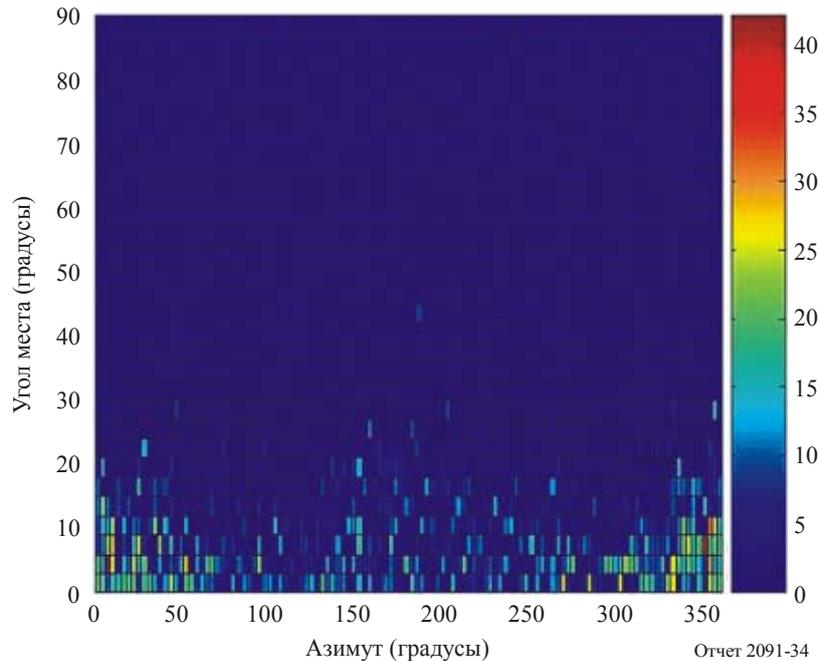
Процент потерь данных по отношению к п.п.м. на спутник на обсерватории РАС



Для того чтобы пороговый уровень э.п.п.м. не превышался в течение более 98% времени в среднем по всему небу, каждый спутник системы ЛЕОСАР службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -179 дБ(Вт/м²) в полосе частот радиоастрономической службы.

На Рисунке 34 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м., для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -179 дБ(Вт/м²). Азимут 0° направлен к северу и увеличивается с запада на восток.

РИСУНОК 34
Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -179 дБ(Вт/м²)
на обсерватории РАС



7.4.2.2 Наблюдения спектральной линии в полосе частот 1400–1427 МГц

Данное значение на спутник может напрямую получено без дальнейшего моделирования из значения, необходимого для непрерывные наблюдения, при помощи следующей формулы:

$$pdf_{spectral} = pdf_{continuum} + epdf_{spectral} - epdf_{continuum} \quad (10)$$

Для того чтобы в полосе шириной 20 кГц пороговый уровень э.п.п.м., равный -259 дБ(Вт/м²) не превышался в течение более 98% времени в среднем по всему небу, каждый спутник системы G службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -206 дБ(Вт/м²) в полосе шириной 20 кГц в полосе частот радиоастрономической службы, а каждый спутник КОСПАС-САРСАТ должен создавать п.п.м. меньше -194 дБ(Вт/м²) в любой полосе шириной 20 кГц в полосе частот радиоастрономической службы.

7.4.2.3 Наблюдения спектральной линии в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц

Мощность, принимаемая приемником радиоастрономической станции, и которая должна быть сравнена с уровнем вредных помех, вычисляется по формуле:

$$P = average(pfd \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \sum_{i=1}^n G_i) \quad (11)$$

где:

- P : принимаемая мощность в радиоастрономической полосе частот (Вт)
 pdf : п.п.м. на радиоастрономической станции, излучаемая одним спутником в радиоастрономической полосе частот (предположительно постоянная) (Вт/м²)
 λ : длина волны (м)
 n : количество активных спутников в зоне видимости
 G_i : усиление радиоастрономической антенны в направлении на спутник i .

Средняя величина вычисляется за период времени 2000 с наблюдений РАС.

Из данного уравнения мы можем увидеть, что отличия между разными частотами определяются: значением λ , усилением антенны радиотелескопа, уровнем вредных помех и условиями распространения. Исследования, выполненные Рабочей группой МСЭ-R РГ 7D, уже показали, что усиление антенны очень мало влияет на результаты, вот почему для всех частот во всех исследованиях выбран диаметр антенны, равный 100 м. Более того, для упоминающихся здесь частот условия распространения изменяются не сильно. Следовательно, можно предположить, что разница в п.п.м. на спутник между частотами будет зависеть главным образом от длины волны и уровня вредных помех.

Таким образом, мы можем записать:

$$pdf_2 \approx pdf_1 + P_2 - P_1 + 20 \log \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) = pdf_1 + P_2 - P_1 + 20 \log \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \quad (12)$$

где:

- pdf_2 : п.п.м. на спутник, учитываемое на частоте 1 (дБ(Вт/м²))
 pdf_1 : п.п.м. на спутник, учитываемое на частоте 2 (дБ(Вт/м²))
 P_1 : уровень вредных помех на частоте 1 (дБВт)
 P_2 : уровень вредных помех на частоте 2 (дБВт)
 f_1 : частота 1 (МГц)
 f_2 : частота 2 (МГц).

Для того чтобы в течение более 98% времени выполнялся критерий по пороговому уровню э.п.м., равный -258 дБ(Вт/м²) в полосе шириной 20 кГц, в среднем по всему небу, каждый спутник системы G службы ПСС должен создавать п.п.м. меньше -205 дБ(Вт/м²) в полосе шириной 20 кГц в полосе частот радиоастрономической службы, а каждый спутник КОСПАС-САРСАТ должен создавать п.п.м. меньше -193 дБ(Вт/м²) в любой полосе шириной 20 кГц в полосе частот радиоастрономической службы.

7.4.3 Полученные значения

Нежелательные излучения негеостационарных спутников ПСС, использующих полосу частот 1525–1559 МГц, попадают в полосу частот РАС 1400–1427 МГц, а 1610,6–1613,8 МГц – попадают в область побочных излучений.

7.4.3.1 Система G службы ПСС на основе Рекомендации МСЭ-R M.1184

В Таблице 16 приведена оценка уровня п.п.м., создаваемой на радиоастрономической станции системой G службы ПСС, сделанная на основе маски побочных излучений, содержащейся в Приложении 3 РР.

ТАБЛИЦА 16
Ослабление негеостационарных сетей ПСС в полосе частот 1525–1559 МГц, необходимое для получения вредного уровня э.п.п.м.

| Система G | |
|---|--------|
| Э.и.и.м. на луч и на несущую в полосе частот ПСС (дБВт) | -7,2 |
| П.п.м. в полосе частот службы ПСС (дБ(Вт/м ²)) | -141,7 |
| Усиление антенны (дБи) | 13,0 |
| Мощность излучения на луч и на канал в полосе частот ПСС (дБВт) | -20,2 |
| $43 + 10 \log P$ | 22,8 |
| Побочное ослабление из Приложения 3 PP (дБс в 4 кГц) | 22,8 |
| Побочный уровень из Приложения 3 PP (дБ(Вт в 4 кГц)) | -43 |
| Побочный уровень в полосе частот 1400–1427 МГц (дБВт) | -5 |
| Побочная п.п.м. в полосе частот РАС (дБ(Вт/м ²)) | -126 |
| Необходимая п.п.м. в пассивном полосе частот (дБ(Вт/м ²)) | -206 |

Следует заметить, что для вычисления общего уровня побочных излучений в полосе частот РАС предполагалось, что побочные излучения имеют постоянный уровень во всей полосе частот РАС. Данная гипотеза является очень строгой и очевидно не подходит для реальных условий, поскольку побочные излучения обычно появляются на нескольких разных частотах. Поэтому необходима дальнейшая работа, чтобы учесть данный дискретный компонент побочных излучений, с целью получения более реалистичной картины уровней нежелательных излучений ПСС в полосе частот РАС.

Это замечание относится и к полосе частот 1610,6–1613,8 МГц.

7.4.3.2 КОСПАС-САРСАТ

В Таблицах 17 (случай надир) и 18 (случай горизонта) приведены вычисления уровня п.п.м. на земле, излучаемого обеими системами.

В определении не приведено эталонной полосы частот для побочных излучений дискретного типа ни для системы САРСАТ, ни для системы КОСПАС. Однако информация была получена от производителя оборудования САРСАТ. Измерения побочных излучений были сделаны в пределах эталонной полосы шириной 10 кГц. То же предположение было сделано и для системы КОСПАС.

ТАБЛИЦА 17
Максимальная п.п.м., излучаемая в надире

| Система | Побочный уровень (дБВт) | Эталонная полоса частот (кГц) | Высота (км) | Усиление антенны (дБи) | Максимальная п.п.м. (дБ(Вт/м ²)) |
|---------|-------------------------|-------------------------------|-------------|------------------------|--|
| САРСАТ | -38 | 27 000 | 825 | 4 | -164 |
| | -47 | 20 | 825 | 4 | -172 |
| КОСПАС | -57 | 20 | 1 000 | -2 | -190 |
| | -57 | 20 | 690 | -2 | -187 |

ТАБЛИЦА 18

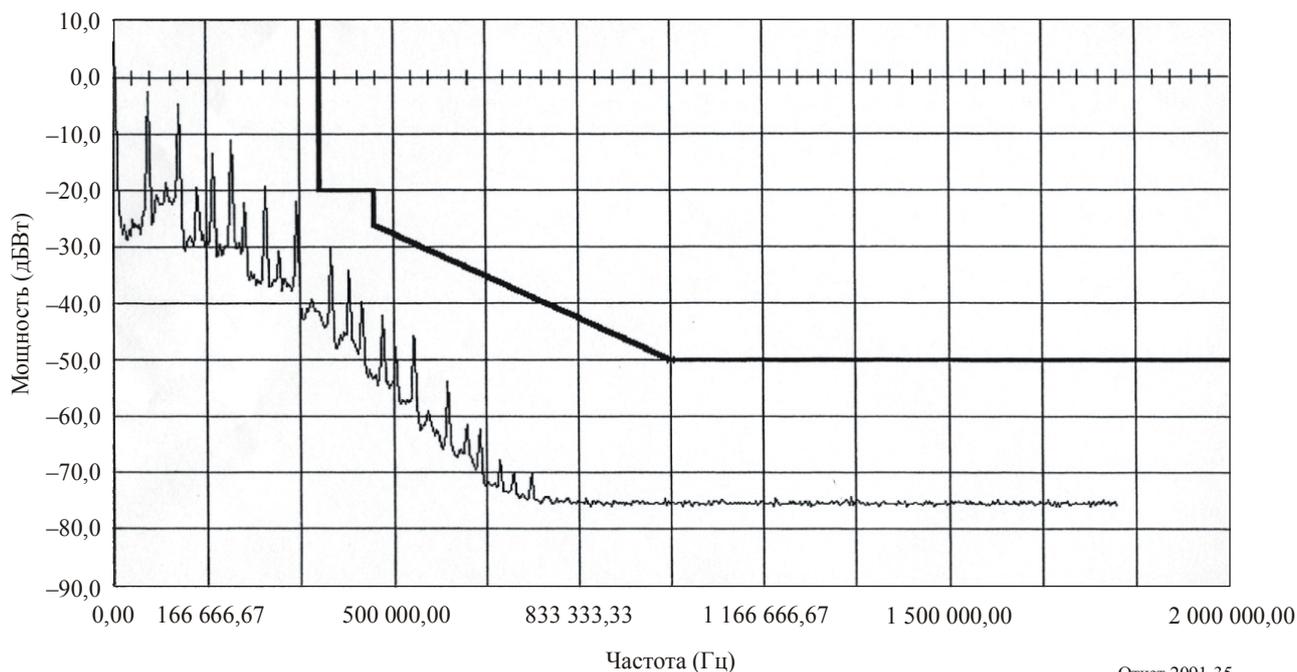
Максимальная п.п.м., излучаемая под углом смещения, равным 60° (горизонт)

| Система | Побочный уровень (дБВт) | Эталонная полоса частот (кГц) | Наклонная дальность (км) | Усиление антенны (дБи) | Максимальная п.п.м. (дБ(Вт/м ²)) |
|---------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|--|
| САРСАТ | -38 | 27 000 | 2 272 | -1 | -177 |
| | -47 | 20 | 2 272 | -1 | -186 |
| КОСПАС | -57 | 20 | 2 973 | 0 | -197 |
| | -57 | 20 | 1 792 | 0 | -193 |

Рисунок 35 был предоставлен производителем оборудования системы САРСАТ. На нем показано, что фактически уровень побочных излучений на 25 дБ ниже указанного в спецификации. Следовательно, реальная п.п.м. на земле, излучаемая в радиоастрономических полосах частот, будет на 25 дБ ниже значений, приведенных в Таблицах 17 и 18. Поэтому можно предположить, что вполне возможно достичь уровня п.п.м. на спутник, определенного в п. 7.4.2 без чрезмерных ограничений на оборудование. Поскольку оборудование системы САРСАТ взято для наихудшего случая, то же заключение может быть сделано и для оборудования системы КОСПАС.

РИСУНОК 35

Измерение нежелательных излучений системы САРСАТ



Отчет 2091-35

7.5 Методы уменьшения помех для службы РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних

боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

7.6 Результаты исследований

7.6.1 Резюме

В Таблице 19 далее приведены пороговые уровни э.п.п.м. и п.п.м., необходимые для защиты радиоастрономических станций от нежелательных излучений систем КОСПАС САРСАТ в полосе частот 1544–1545 МГц.

ТАБЛИЦА 19

Пороговые уровни для защиты службы РАС от нежелательных излучений системы КОСПАС-САРСАТ

| Полоса частот РАС (МГц) | Тип наблюдений | Эталонная полоса частот | Порог э.п.п.м. (дБ(Вт/м ²)) | Порог п.п.м. на спутник (дБ(Вт/м ²)) |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|---|--|
| 1 400–1 427 | Непрерывные | 27 МГц | –243 | –179 |
| 1 400–1 427 | Спектральная линия | 20 кГц | –259 | –194 |
| 1 610,6–1 613,8 | Спектральная линия | 20 кГц | –258 | –193 |

Если принимать во внимание спецификации оборудования систем КОСПАС и САРСАТ, видно, что п.п.м., создаваемая на земле нежелательными излучениями в полосах частот РАС, превышает пороговый уровень п.п.м. на спутник, указанный в Таблице 17, на величину от 2 дБ до 13 дБ для непрерывных наблюдений и от 5 дБ до 22 дБ для наблюдений спектральной линии.

Однако полосы частот РАС отстоят от полосы частот КОСПАС-САРСАТ на 65 МГц и 117 МГц, соответственно. Кроме того, уровень нежелательных излучений, фактически измеренный на оборудовании системы САРСАТ, примерно на 25 дБ ниже, чем в спецификации. Следовательно, оборудование системы САРСАТ соответствует пределам, показанным в Таблице 17. Поскольку оборудование системы САРСАТ взято для наихудшего случая, то же заключение может быть сделано и для оборудования системы КОСПАС.

7.6.2 Заключение

Вполне реально достичь уровня п.п.м. на спутник, определенного в Таблице 19, без дальнейшего ограничения системы КОСПАС-САРСАТ.

8 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1400–1427 МГц, и радиовещательной спутниковой службы (РСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 1 452–1 492 МГц

8.1 РАС

8.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 1400–1427 МГц распределена только пассивным службам на первичной основе: службе РАС, службе ССИЗ (пассивной) и службе СКИ (пассивной).

П. 5.340 Регламента радиосвязи запрещает все излучения в данной полосе частот.

8.1.2 Тип наблюдений

Во всех Районах МСЭ-R полоса частот 1400–1427 МГц используется более интенсивно, чем любая другая. Основным вариантом использования этой полосы частот для целей радиоастрономии является наблюдение спектральной линии космического нейтрального атомного водорода (также известного, как HI), который имеет собственную частоту 1420,406 МГц. Этот элемент, безусловно, является главной составляющей нашей и других галактик и встречается в виде больших, облаков комплексной структуры. Данная линия наблюдается и в режиме излучения, и в режиме поглощения, она расширяется и сдвигается по частоте в результате сдвига Доплера из-за локальных и крупных передвижений в облачных структурах. Соответственно, наблюдения HI могут использоваться для нанесения на карты распределения материала и его движения в нашей и других галактиках. Таким образом, мы можем нанести на карту структуру нашей галактики и движение материала.

Полоса частот 1400–1427 МГц достаточно широка, чтобы охватывать излучения с доплеровским сдвигом из облаков нашей или близлежащих галактик. Измерения поляризации излучения или поглощения HI дают важную информацию о галактических магнитных полях, а следовательно, помогают расширить знания о структуре галактики.

Также полоса частот 1400–1427 МГц используется для непрерывных (широкополосных) наблюдений излучений, создаваемых горячей плазмой, формирующейся, когда звезды нагревают окружающие облака, а также в результате взаимодействия высокоэнергетических электронов в галактическом магнитном поле (синхротронное излучение).

8.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769, в которой перечислены уровни нежелательных излучений, при которых ошибки измерений возрастают на 10%. Эта полоса частот используется и для наблюдений спектральной линии, и для непрерывных наблюдений. В полосе частот 1400–1427 МГц наблюдения спектральной линии с использованием одной параболической антенны выполняются с полосой пропускания канала (одного из каналов спектрометра) 20 кГц, пороговый уровень п.п.м. вредного излучения равен -196 дБ(Вт/м²). Для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной используется вся полоса частот шириной 27 МГц, в этом случае пороговый уровень вредного излучения равен -180 дБ(Вт/м²).

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, -166 дБ(Вт/м²), для всей полосы частот 20 .

Пороги уровней вредных помех службе РАС, определенные и вычисленные в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, выше которых радиоастрономические данные понижаются и могут быть в конечном счете потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для обеспечения получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

8.1.4 Эксплуатационные характеристики

Полоса частот 1400–1427 МГц является наиболее часто используемой в радиоастрономии полосой частот. Она используется во всем мире, во всех Районах МСЭ, и некоторые радиотелескопы, такие, как Synthesis Radio Telescope в Радиоастрофизической обсерватории Доминиона (DRAO), Пентиктон, Канада, постоянно ведут наблюдение в данной полосе частот. Радиотелескопы с одной антенной используются для измерений интегрированной спектральной п.п.м. (spfd) источников малого углового диаметра и для нанесения на карты структур большого углового размера, которые не могут быть нанесены на карты при помощи телескопов с синтетической апертурой.

Более высокая угловая разрешающая способность, получаемая благодаря телескопам с синтетической апертурой, дает возможность нанесения на карты более тонких структур в облаках водорода и источников непрерывных излучений, таких, как остатки вспышек сверхновых. Затем эти карты объединяются с картами более низкого разрешения, полученными с помощью радиотелескопов с одной антенной, чтобы получить 3-D изображения высокого качества нашей и других галактик. Радиотелескопам с синтетической апертурой, в которых применяется многоантенная матрица, для создания полной карты данного сектора неба может потребоваться "экспозицию" от одного до 12 часов.

Для того чтобы облегчить нанесение на карты сравнительно больших структур источников, некоторые радиотелескопы с синтетической апертурой, такие, как инструмент DRAO, используют матрицы сравнительно небольших антенн. Инструменты такого рода не имеют возможности оптимального подавления боковых лепестков и поэтому уязвимы для помех.

Наблюдения спектральных линий выполняются с помощью многоканальных спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих (обычно от 256 до 4096) частотных каналах, распределенных по полосе частот. Количество каналов и их индивидуальная ширина полосы выбираются так, чтобы в должной степени отражать спектр излучения от облака(ов) водорода в луче антенны.

Как правило, наблюдения производятся по-разному. В случае наблюдений непрерывных излучений может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

В случае наблюдения спектральной линии в полосах частот производится запись спектров, включая представляющие интерес линейные излучения (линейчатый спектр), а затем на частоте, отстоящей от линейчатых излучений, или на той же частоте, но на близлежащей позиции в небе (эталонный спектр). Путем вычитания эталонного спектра из линейного спектра, из данных могут быть удалены элементы нежелательного шума и другие примеси.

Поскольку галактика заполнена облаками нейтрального водорода, радиотелескопы замечают не только излучение и поглощение в облаках, попадающих в главный луч антенны, но еще и значительный объем составляющих, попадающих в боковые лепестки антенны. Данное "побочное излучение" искажает спектр и уменьшает детализацию карты. Удаление его из данных требует крупномасштабных измерений всего луча антенны (насколько это возможно) и оценки коррекции побочных излучений. Поэтому помехи и большие "заблокированные" участки неба будут влиять на возможность нанесения на карты участков неба, находящихся под большими углами от источников помех.

Расширенная зона радиоизлучения может быть отображена при помощи записи излучения сетки точек, покрывающих интересующую зону. Могут выполняться как непрерывные наблюдения, так и наблюдения спектральной линии. В случае радиотелескопов с одной антенной каждое наблюдение с сеткой точек является отражением всей мощности (в случае континуума) или спектра излучения (в случае спектральной линии), исходящих из данной позиции в небе; промежуток между точками в сетке не должен превышать половины ширины диаграммы направленности антенны. Когда наблюдения производятся с помощью радиотелескопа с синтетической апертурой, там, где область, отображаемая на карте, выходит за границы мгновенной зоны нанесения на карты, точки сетки не должны отстоять друг от друга более чем на половину ширины диаграммы направленности одной из антенн радиотелескопа.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки, и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

8.2 РСС

8.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Полоса частот 1452–1492 МГц распределена службе РСС.

8.2.2 Применение

Вещательная передача только звуковых программ.

8.2.3 Уровни на основе регламентарных норм

Не оценены.

8.2.4 Эксплуатационные характеристики

Были получены следующие характеристики, представляющие собой ожидаемые максимальные значения и типовую необходимую полосу частот, основанные на характеристиках систем звукового вещания РСС, которые уже реализованы и скорее всего будут реализованы. Кроме того, в настоящей Рекомендации представлены обычные значения усиления антенны.

ТАБЛИЦА 20

| Полоса частот (МГц) | Заявленная система | Необходимая полоса частот (МГц) | Усиление спутниковой антенны (дБи) | Ожидаемая максимальная внутриполосная п.п.м. (дБ(Вт/(м ² · 4 кГц))) |
|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| 1 452–1 492 | Цифровая система А | 1,536 | 30 | -128 |
| | Цифровая система DS | 1,84 | 30 | -138 |

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Результаты, приведенные в настоящем Приложении, относятся только к геостационарным системам.

8.3 Порог совместимости

См. п. 8.1.3.

8.4 Оценка помех

8.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

Что касается негеостационарных систем, критерии защиты для радиоастрономии и соответствующие методики описаны в Рекомендациях МСЭ-R RA.769 и МСЭ-R RA.1513, а так же для систем ФСС – в Рекомендации МСЭ-R S.1586.

Маска внеполосных излучений, которая использовалась для вычислений, описана в п. 8.4.3.1.

8.4.2 Вычисление уровня помех

См. п. 8.4.3.

8.4.3 Полученные значения

Следует заметить, что следующие параграфы относятся только к геостационарным системам.

8.4.3.1 Наблюдения спектральной линии

На основе необходимой полосы частот, указанной в Таблице 20, и разнеса между полосами частот РСС и полосами пассивных служб, ясно, что для полос, распределенных РСС, пределы побочных излучений равны: $43 + 10 \log P$ или 60 дБс, в зависимости от того, какая из величин менее строгая, где P – средняя мощность (Вт), подаваемая в антенну. Это подробно описано в Таблице 21.

ТАБЛИЦА 21

| Полоса частот, распределенная РСС (МГц) | Ближайшая полоса частот, распределенная пассивной службе (МГц) | Заявленная система | Необходимая полоса частот (МГц) | Начало области ОоВ (МГц) | Конец области ОоВ (МГц) | Необходимое ослабление в полосе частот, распределенной пассивной службе |
|---|--|---------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|---|
| 1 452–1 492 | 1400–1 427 | Цифровая система А | 1,536 | 1 452 | 1 448,928 | $43 + 10 \log P$ или 60 дБс |
| | | Цифровая система DS | 1,84 | 1 452 | 1 448,32 | $43 + 10 \log P$ или 60 дБс |

Ожидаемый уровень нежелательных излучений получен из параметров из Таблицы 22.

ТАБЛИЦА 22

| Полоса частот, распределенная РСС (МГц) | Ближайшая полоса частот, распределенная пассивной службе (МГц) | Ожидаемая максимальная внутриполосная п.п.м. (дБ(Вт/($m^2 \cdot 4$ кГц))) | Усиление спутниковой антенны (дБи) | Общая средняя выходная мощность передатчика (дБВт) | Необходимое ослабление в полосе частот, распределенной пассивной службе (дБс) | Ожидаемые максимальные уровни нежелательных помех (дБ(Вт/($m^2 \cdot 4$ кГц))) |
|---|--|--|------------------------------------|--|---|---|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 1 452–1 492 | 1,536 | –128 | 30 | 29,8 | 60 | –162,4 |
| | 1,84 | –138 | 30 | 20,6 | 60 | –171,4 |

Где столбцы соотносятся следующим образом:

$$(4) = (2) + 162 \text{ (потери в свободном пространстве)} - (3)_{in-band} - 36 + 10 \log ((1))$$

Уровень в столбце (4) определяет необходимое ослабление для случая предела по побочным излучениям:

$$(6) = (4) - (5) + (3)_{out-of-band} - 162$$

Предполагалось, что значения усиления спутниковой антенны на частотах, распределенных пассивным службам, такие же, как и на рабочих частотах, распределенных спутниковым службам (т.е. $(3)_{in-band} = (3)_{out-of-band}$ с примечаниями, использованными ниже). Следует помнить, что это соответствует наихудшему случаю.

Полоса частот пассивных служб используется как для наблюдений спектральной линии, так для непрерывных наблюдений. Наблюдения спектральной линии выполняются с полосой пропускания канала (одного из каналов спектрометра) 20 кГц (обычно), в таком случае пороговый уровень п.п.м. вредного излучения равен -196 дБ(Вт/ m^2). Данные критерии защиты следует сравнить со следующими значениями:

$$-162,4 + 10 \log((20/4)) = -155,4 \text{ дБ(Вт/(} m^2 \cdot 20 \text{ кГц))}$$

и с:

$$-171,4 + 10 \log((20/4)) = -164,4 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 20 \text{ кГц))}$$

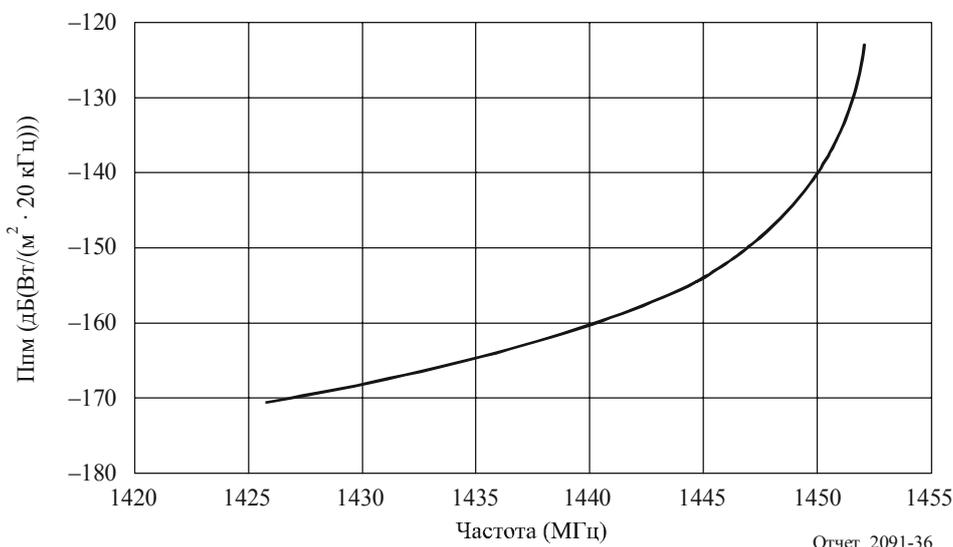
Это значит, что в конце области ОоВ различие между критериями защиты и побочным ограничением составит порядка 40 дБ. Поскольку конец области ОоВ приходится на частоту 1448,928 МГц, а полоса частот, распределенная РАС, начинается с 1427 МГц (в 10 раз больше необходимой полосы частот), вероятно, что в начале полосы частот, распределенной РАС, различие между уровнем побочных излучений и критерием защиты будет существенно ниже.

В частности, если предположить, что затухание сигнала в пределах области побочных излучений будет соответствовать новой маске ОоВ, разработанной для системы РСС (см. Рекомендацию МСЭ-R SM.1541), то затухание будет выражаться формулой:

$$32 \log \left(\frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{дБsd}$$

РИСУНОК 36

Уровень п.п.м., интегрированный по полосе шириной 20 кГц, в зависимости от частоты



В таком случае различие на краю полосы частот, распределенной РАС, составляет около 25 дБ (для цифровой системы DS - около 20 дБ). Необходимо избегать этих остаточных помех, используя методы дополнительного подавления помех (географическая изоляция и фильтрация).

8.4.3.2 Наблюдения в режиме VLBI

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, -166 дБ(Вт/м²), для всей полосы частот 20 .

, . 8.4.3.1, VLBI, , .

8.4.3.3 Непрерывные наблюдения

Для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной используется вся полоса частот шириной 27 МГц, в таком случае ограничение вредных помех будет равно -180 дБ(Вт/м²).

Принимая во внимание две системы, упоминающиеся в Таблице 20, максимальный уровень полосы частот п.п.м. равен:

$$-128 + 10 \log_{10} (1.536 \text{ МГц}/4 \text{ кГц}) = -102 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 1.536 \text{ МГц}/4 \text{ кГц))}$$

Если в данной системе происходит такое же затухание сигнала, что и в системе, описанной в Документе 1–7/149 Рабочей Группы по радиосвязи 4А, то подавление между внутриполосной мощностью и мощностью, интегрированной по полосе шириной 27 МГц, будет выше 80 дБ. Это значит, что критерии защиты непрерывных наблюдений будут соблюдены. Также это подтверждает, что будут соблюдены критерии защиты для режима VLBI.

8.5 Методы уменьшения помех

8.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

8.5.2 РСС

Системы этой службы ведут непрерывную передачу в течение длительного времени с постоянными мощностью и спектром. Возможные действия по уменьшению помех состоят в том, чтобы не создавать нежелательных излучений в направлении на радиоастрономические станции, работающих в данной полосе частот, или использовать фильтры для соответствующего подавления нежелательных излучений до уровня, на котором в полосе частот 1400–1427 МГц не создаются вредные помехи радиоастрономическим наблюдениям.

8.5.3 Возможное воздействие

8.5.3.1 РАС

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Попытки уменьшить чувствительность радиоастрономической антенны к нежелательным излучениям, исходящим от космических станций, вероятно, повысят чувствительность радиоастрономического телескопа к земному излучению и возможно уменьшат усиление его главного луча. Оба эти воздействия уменьшат пропускную способность канала телескопа и тем самым приведут к увеличению всего необходимого времени интеграции.

Гашение по времени и/или частоте. Гашение влечет за собой риск понижения достоверности данных и может привести к ошибкам в их научной интерпретации. Также гашение приводит к увеличению времени интеграции, необходимого для осуществления наблюдений, что соответствует потере пропускной способности канала телескопа.

8.5.3.2 РСС

Фильтры являются очевидным решением для подавления нежелательных излучений, но добавление таких фильтров может существенно изменить конструкцию спутника. Если используется активная антенна с фазированной решеткой, фильтры могут понадобиться для каждого активного вибратора антенны. Это увеличит вес спутника. Компенсация потерь в фильтрах потребует более мощных передатчиков, которые, в свою очередь, потребуют большую мощность питания, и таким образом больших солнечных батарей. Увеличение веса может потребовать большего ракетносителя. Увеличение стоимости может быть значительным. Следовательно, применение фильтров может рассматриваться только на этапе планирования системы. Однако непрерывное техническое совершенствование фильтров и

активных антенн со временем может уменьшить трудности применения таких решений до приемлемых значений.

8.6 Результат исследований

8.6.1 Резюме

Вычисления, выполненные в предыдущих подразделах, касались совместимости геостационарных систем РСС, работающих в полосе частот 1400–1427 МГц. Для негеостационарных систем понадобятся дальнейшие исследования.

Вычисления, выполненные в предыдущих подразделах, показали, что системы РСС удовлетворяют критериям защиты для наблюдений VLBI и для непрерывных наблюдений, как сказано в п. 8.1.3. Однако для того, чтобы выполнялись критерии защиты для наблюдений спектральной линии вероятно потребуется применять методы уменьшения помех, таких как фильтрация. Принимая во внимание тот факт, что существующий защитный интервал между полосами частот, распределенными службам РАС и РСС, достаточно велик по сравнению с необходимой шириной полосы частот, используемой системами РСС, ожидается, что критерий защиты службы РАС является технически достижимым при условии применения методов уменьшения помех, таких, как фильтрация и географическая изоляция. Следует заметить существенное экономическое влияние от применения таких методов.

8.6.2 Заключение

Критерии защиты для радиоастрономических наблюдений в данной полосе частот могут применяться и для непрерывных наблюдений, и для VLBI, и для наблюдений спектральной линии, при условии применения соответствующих методов уменьшения помех.

9 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1400–1427 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) со спутниками на геостационарной орбите (космос-Земля), работающей в полосе частот 1525–1559 МГц

9.1 РАС

9.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 1400–1427 МГц распределена только пассивным службам на первичной основе: РАС, ССИЗ (пассивной) и СКИ (пассивной). В данном разделе рассматривается только случай радиоастрономии.

П. 5.340 Регламента радиосвязи запрещает все излучения в данной полосе частот.

9.1.2 Тип наблюдений

Во всех Районах МСЭ-R полоса частот 1400–1427 МГц используется более интенсивно, чем любая другая. Основным вариантом использования этой полосы частот для целей радиоастрономии является наблюдение спектральной линии космического нейтрального атомного водорода (также известного, как HI), который имеет собственную частоту 1420,406 МГц. Этот элемент, безусловно, является главной составляющей нашей и других галактик и встречается в виде больших, облаков комплексной структуры. Данная линия наблюдается и в режиме излучения, и в режиме поглощения, она расширяется и сдвигается по частоте в результате сдвига Доплера из-за локальных и крупных передвижений в облачных структурах. Соответственно, наблюдения HI могут использоваться для нанесения на карты распределения материала и его движения в нашей и других галактиках. Таким образом, мы можем нанести на карту структуру нашей галактики и движение материала.

Полоса частот 1400–1427 МГц достаточно широка, чтобы охватывать излучения с доплеровским сдвигом из облаков нашей или близлежащих галактик. Измерения поляризации излучения или поглощения HI дают важную информацию о галактических магнитных полях, а следовательно, помогают расширить знания о структуре галактики.

Также полоса частот 1400–1427 МГц используется для непрерывных (широкополосных) наблюдений излучений, создаваемых горячей плазмой, формирующейся, когда звезды нагревают окружающие облака, а также в результате взаимодействия высокоэнергетических электронов в галактическом магнитном поле (синхротронное излучение).

9.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769, в которой перечислены уровни нежелательных излучений, при которых ошибки измерений возрастают на 10%. Эта полоса частот используется и для наблюдений спектральной линии, и для непрерывных наблюдений. В полосе частот 1400–1427 МГц наблюдения спектральной линии с использованием одной параболической антенны выполняются с полосой пропускания канала (одного из каналов спектрометра) 20 кГц, пороговый уровень п.п.м. вредного излучения равен -196 дБ(Вт/м²). Для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной используется вся полоса частот шириной 27 МГц, в этом случае пороговый уровень вредного излучения равен -180 дБ(Вт/м²).

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, -166 дБ(Вт/м²), для всей полосы частот 20 .

Пороги уровней вредных помех службе РАС, определенные и вычисленные в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, выше которых радиоастрономические данные понижаются и могут быть, в конечном счете, потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для обеспечения получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

9.1.4 Эксплуатационные характеристики, тип наблюдений

Полоса частот 1400–1427 МГц является наиболее часто используемой в радиоастрономии полосой частот. Она используется во всем мире, во всех Районах МСЭ, и некоторые радиотелескопы, такие, как Synthesis Radio Telescope в DRAO, Пентиктон, Канада, постоянно ведут наблюдение в данной полосе частот. Радиотелескопы с одной антенной используются для измерений интегрированной спектральной п.п.м. (spfd) источников малого углового диаметра и для нанесения на карты структур большого углового размера, которые не могут быть нанесены на карты при помощи телескопов с синтетической апертурой.

Более высокая угловая разрешающая способность, получаемая благодаря телескопам с синтетической апертурой, дают возможность нанесения на карты более тонких структур в облаках водорода и источников непрерывных излучений, таких, как остатки вспышек сверхновых. Затем эти карты объединяются с картами более низкого разрешения, полученными с помощью радиотелескопов с одной антенной, чтобы получить 3-D изображения высокого качества нашей и других галактик. Радиотелескопам с синтетической апертурой, в которых применяется многоантенная матрица, для создания полной карты данного сектора неба может потребоваться "экспозиция" от одного до 12 часов.

Для того чтобы облегчить нанесение на карты сравнительно больших структур источников, некоторые радиотелескопы с синтетической апертурой, такие, как инструмент DRAO, используют матрицы сравнительно небольших антенн. Инструменты такого рода не имеют возможности оптимального подавления боковых лепестков и поэтому уязвимы для помех.

Наблюдения спектральных линий выполняются с помощью многоканальных спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих (обычно от 256 до 4096) частотных каналах, распределенных по полосе частот. Количество каналов и их индивидуальная ширина полосы выбираются так, чтобы в должной степени отражать спектр излучения от облака(ов) водорода в луче антенны.

Как правило, наблюдения производятся по-разному. В случае наблюдений непрерывных излучений может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

В случае наблюдения спектральной линии в полосах частот производится запись спектров, включая представляющие интерес линейные излучения (линейчатый спектр), а затем на частоте, отстоящей от линейчатых излучений, или на той же частоте, но на близлежащей позиции в небе (эталонный спектр). Путем вычитания эталонного спектра из линейного спектра, из данных могут быть удалены элементы нежелательного шума и другие примеси.

Поскольку галактика заполнена облаками нейтрального водорода, радиотелескопы замечают не только излучение и поглощение в облаках, попадающих в главный луч антенны, но еще и значительный объем составляющих, попадающих в боковые лепестки антенны. Данное "побочное излучение" искажает спектр и уменьшает детализацию карты. Удаление его из данных требует крупномасштабных измерений всего луча антенны, насколько это возможно, и оценки коррекции побочных излучений. Поэтому помехи и большие "заблокированные" участки неба будут влиять на возможность нанесения на карты участков неба, находящихся под большими углами от источников помех.

Расширенная зона радиоизлучения может быть отображена при помощи записи излучения сетки точек, покрывающих интересующую зону. Могут выполняться как непрерывные наблюдения, так и наблюдения спектральной линии. В случае радиотелескопов с одной антенной каждое наблюдение с сеткой точек является отражение всей мощности (в случае континуума) или спектра излучения (в случае спектральной линии), исходящих из данной позиции в небе; промежуток между точками в сетке не должен превышать половины ширины диаграммы направленности антенны. Когда наблюдения производятся с помощью радиотелескопа с синтетической апертурой, там, где область, отображаемая на карте, выходит за границы мгновенной зоны нанесения на карты, точки сетки не должны отстоять друг от друга более чем на половину ширины диаграммы направленности одной из антенн радиотелескопа.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки, и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

9.2 ПСС

9.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Для передачи (космос-Земля) распределена полоса частот 1525–1559 МГц.

9.2.2 Применение

Подвижная спутниковая служба.

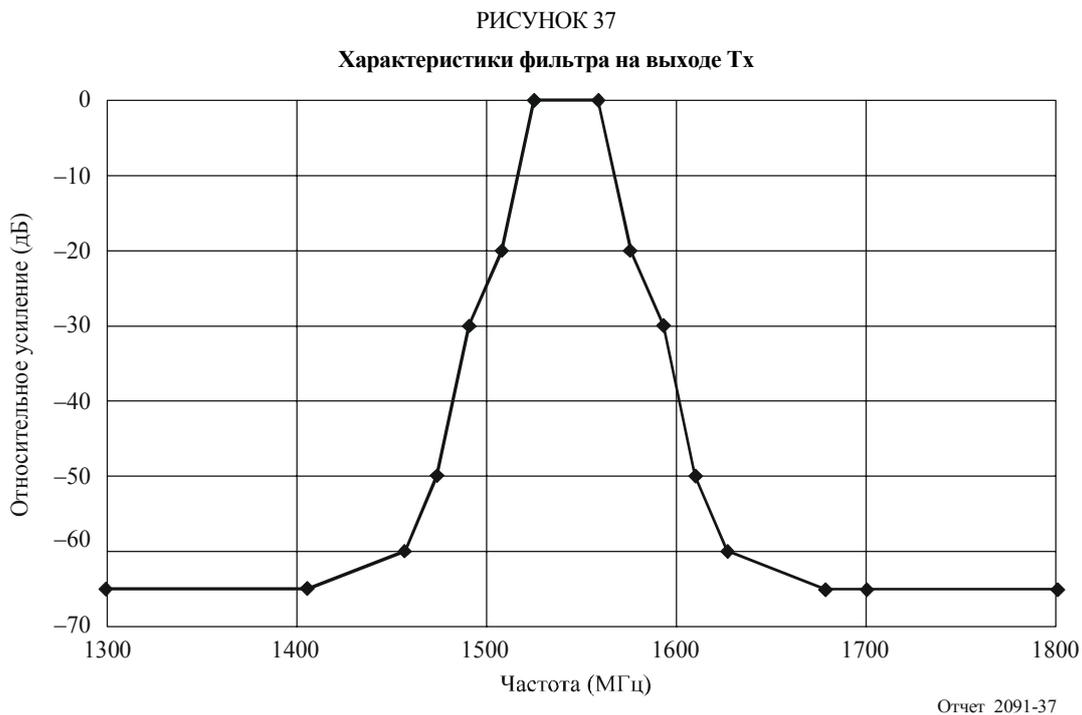
9.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

Уровень необходимого ослабления составляет $43 + 10 \log P$ дБс или 60 дБс, в зависимости от того, для какого уровня меньше наложенные ограничения, где P – пиковая мощность на входе антенны (Вт) в любой полосе шириной 4 кГц.

9.2.4 Характеристики передатчика

Усиление антенны равно 41 дБи.

На Рисунке 37 показаны характеристики фильтра на выходе передатчика (T_x).



9.2.5 Эксплуатационные характеристики

Обычная пиковая мощность, передаваемая в точечный луч геостационарного спутника службы ПСС на входе антенны, равна 16 дБВт в полосе шириной 5 МГц.

9.2.6 Внутриполосный уровень передачи

Внутриполосный уровень передачи равен -15 дБВт в полосе шириной 4 кГц.

9.3 Порог совместимости

См. п. 9.1.3.

9.4 Оценка помех

9.4.1 Методика, использованная при оценке помех

Для определения уровня п.п.м. на земной поверхности используются: спектральная плотность мощности, пиковое усиление антенны и измеренное ослабление фильтра на выходе передатчика на разных частотах.

9.4.2 Вычисление уровня помех

В Таблице 23 показаны типичные уровни помех на выходе этого фильтра, плотности э.и.м. на выходе антенны и п.п.м. на поверхности Земли на разных частотах, полученные на основе ожидаемых характеристик фильтра передатчика, используемого в полосе частот 1525–1559 МГц.

ТАБЛИЦА 23

Ожидаемые значения спектральной плотности мощности (п.п.м.), плотности э.и.и.м. и уровня п.п.м. на поверхности Земли для спутника ИНМАРСАТ-4

| Частота (МГц) | П.п.м. на выходе фильтра (дБ(Вт/4 кГц)) | Плотность э.и.и.м. на выходе антенны (дБ(Вт/4 кГц)) | Уровень п.п.м. на поверхности Земли (дБ(Вт/(м ² · 4 кГц))) |
|---------------|---|---|---|
| 1 300 | -80 | -39 | -202 |
| 1 406 | -80 | -39 | -202 |
| 1 457 | -75 | -24 | -197 |
| 1 474 | -65 | -14 | -187 |
| 1 491 | -45 | -4 | -167 |
| 1 508 | -35 | 6 | -157 |
| 1 525 | -15 | 26 | -137 |
| 1 559 | -15 | 26 | -137 |
| 1 576 | -35 | 6 | -157 |
| 1 593 | -45 | -4 | -167 |
| 1 610 | -65 | -14 | -187 |
| 1 627 | -75 | -24 | -197 |
| 1 678 | -80 | -39 | -202 |
| 1 700 | -80 | -39 | -202 |
| 1 800 | -80 | -39 | -202 |

9.4.3 Полученные значения

Полученное значение в полосе шириной 4 кГц составляет -202 дБ(Вт/м²).

Переведа данные значения в значения для непрерывных наблюдений и наблюдений спектральной линии, получим следующие значения:

- для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной: -163 дБ(Вт/м²) в полосе шириной 27 МГц;
- для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны -195 дБ(Вт/м²) в полосе шириной 20 кГц.

На основе указанных выше параметров геостационарной системы подвижной спутниковой связи одного оператора получены следующие значения запаса/дефицита:

- для наблюдений спектральной линии с использованием одной антенны имеется дефицит в 1 дБ, который соответствует критерию защиты, указанному в Рекомендации МСЭ-R RA.769;
- для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной имеется дефицит в 17 дБ, который соответствует критерию защиты, указанному в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

9.5 Методы уменьшения помех

9.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних

боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

9.5.2 ПСС

Чтобы улучшить значения уровней, указанные в Таблице 23, следующие методы уменьшения помех следует принимать во внимание при проектировании новой космической станции:

- широкополосная амплитудно-частотная характеристика антенны;
- характеристики ослабления промежуточных фильтров;
- усиление амплитудно-частотной характеристики твердотельных усилителей мощности;
- характеристики модуляции отдельных сигналов;
- усиление продуктов интермодуляции с учетом мощности сигналов.

9.5.3 Возможное влияние для службы ПСС

Считается, что методы уменьшения помех, описанные в п. 9.5.2, технически применимы к геостационарным системам.

9.6 Результат исследований

9.6.1 Резюме

На основе параметров одной геостационарной спутниковой системы персональной сотовой связи одного оператора и принимая во внимание факторы уменьшения помех, перечисленные в п. 9.5.2, весьма вероятно, что уровни нежелательных излучений от спутниковой системы удовлетворяют пороговым уровням для вредных помех субмиллиметровым радиоастрономическим наблюдениям, как указано в п. 9.1.3.

9.6.2 Заключение

Критерии защиты вероятно должны удовлетворяться для непрерывных наблюдений, VLBI и спектральной линии с применением соответствующих методов уменьшения помех.

10 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, и радионавигационной спутниковой службы (РНСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 1559–1610 МГц

10.1 РАС

10.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц распределена РАС на первичной основе.

П. 5.149 Регламента радиосвязи призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех.

10.1.2 Тип наблюдений

Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц используется для наблюдений спектральной линии ОН (молекулы радикала гидроксила). Линия ОН, которая имеет свою частоту 1612 МГц, является одной из наиболее важных спектральных линий для радиоастрономии, и так и приведена в Рекомендации МСЭ-R RA.314. Радикал ОН был первым космическим радикалом, обнаруженным на радиочастотах (1963) и все еще остается мощным инструментом исследований. ОН производит четыре спектральные линии на частотах примерно 1612, 1665, 1667 и 1720 МГц, и все они наблюдались как в нашей, так и в других галактиках. Изучение линий ОН дает информацию о широком спектре астрономических явлений, например, об

образовании протозвезд и эволюции звезд. Для толкования большинства наблюдений, сделанных в линиях ОН, необходимо измерить относительную напряженность некоторых из этих линий. Потери возможности наблюдения любой из этих линий может помешать изучению некоторых классов физических явлений.

Эти линии ОН вырабатываются когерентным процессом, в котором концентрация радикалов ОН излучается "в такт", создавая узкополосное излучение. Они немного расширяются из-за физических условий в данной концентрации. Движения этих концентрированных масс относительно Земли влечет за собой доплеровский сдвиг линейного излучения. Наличие в источнике нескольких концентраций, которые движутся с разными скоростями, создает более сложный спектр, состоящий из нескольких профилей наложенных друг на друга гауссовских линий разной ширины и амплитуды, и немного различающихся по частоте из-за разных доплеровских сдвигов. Распределение полосы частот такой ширины требуется для того, чтобы учесть расширение и сдвиг спектра из-за дифференциального и суммарного движения источника.

На некоторых этапах своей эволюции определенные классы звезд излучают только линию с частотой 1612 МГц. Изучение такой линии позволяет астрономам измерять такие физические свойства данных звезд, как интенсивность, с которой газ извергается звездами и переходит в межзвездную среду. Некоторые свойства этих звезд не могут быть получены в результате любых других астрономических наблюдений. Измерение ОН излучающих звезд также использовались для измерения расстояния до центра галактики, для измерения массы центрального эксцентриситета нашей галактики, для изучения пространственного распределения молекулярных компонентов нашей галактики в других галактиках. Наконец, было зафиксировано чрезвычайно мощное мазерное излучение около ядер некоторых галактик. Данное мегамазерное излучение от галактических ядер позволяет астрономам изучать температуру и плотность молекулярного газа в их центре.

Спектральная линия ОН также наблюдается в кометах; существует небольшая гибкость в наблюдениях по расписанию данных "альтернативных и перспективных целей".

Наблюдения спектральных линий выполняются при помощи спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих, обычно 256–4096, частотных каналах, распределенных по используемой полосе частот. Ширина и количество каналов должны быть достаточно большими, чтобы точно воспроизводить спектр излучений, принятых радиотелескопом. Используются мгновенные значения ширины полосы частот обычно $\sim 0,2 - 20$ кГц на частотный канал, в зависимости от научной программы.

Источники невелики, и измерения их величины и структуры часто требуют наблюдений с использованием методов VLBI.

10.1.3 Необходимые критерии защиты

В Рекомендации МСЭ-R RA.769 описываются критерии защиты для радиоастрономических наблюдений и приводятся пороговые уровни вредных помех для основных радиоастрономических полос частот. В полосе частот 1610,6–1613,8 МГц для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны, осуществляемых с помощью ширины полосы пропускания канала (одного из каналов спектрометра) в 20 кГц, предел порога п.п.м. равен -194 дБ(Вт/м²). Данная полоса частот используется только для наблюдений за радиолинией, но не для непрерывных наблюдений.

В Рекомендациях МСЭ-R RA.769 и МСЭ-R RA.1513 описаны критерии защиты и соответствующие методики для вредных помех от негеостационарных систем, в Рекомендации МСЭ-R S.1586 для систем ФСС, а в Рекомендации МСЭ-R M.1583 для систем ПСС и РНСС.

Порог уровней вредных помех службе РАС, как определено и вычислено в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, ниже которых понижаются радиоастрономические данные и могут быть, в конечном счете, совсем потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно уменьшается качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для обеспечения получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая

станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

10.1.4 Эксплуатационные характеристики

Наблюдения в полосе частот 1612 МГц выполняются в некоторых астрономических обсерваториях в некоторых странах мира. Наблюдения в полосе частот 1612 МГц иногда ведутся за случайными целями, например, кометами, которые создают кратковременные излучения на этой спектральной линии. Также часто в этой полосе частот производятся наблюдения в режиме VLBI, иногда в Североамериканских и Европейских сетях.

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, $-166 \text{ дБ(Вт/м}^2\text{)}$, 20 , VLBI, -R RA.769.

Наблюдения спектральных линий выполняются с помощью многоканальных спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих, обычно от 256 до 4096, частотных каналах, распределенных по полосе частот. Количество каналов и их индивидуальная ширина полосы выбираются так, чтобы в должной степени отражать спектр излучения от облака(ов) водорода в луче антенны.

Как правило, наблюдения производятся по-разному. В случае наблюдений непрерывных излучений может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки, и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

10.2 РНСС

10.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Полоса частот 1559–1610 МГц распределена службе РНСС для передач из космоса на Землю.

10.2.2 Применение

Спутниковые системы радионавигации, которые используют самые низкочастотные сигналы по сравнению с большинством спутниковых систем, используются для определения местоположения и синхронизации пользователями, включая радиоастрономов и операторов космических пассивных систем. Поэтому обе системы связаны. Существует два основных типа систем РНСС: негеостационарные и геостационарные. Геостационарные системы в основном используются для аэронавигации. Негеостационарные системы используются по всему миру и многими администрациями для навигации, определения местоположения, точной синхронизации, и поисков и спасения.

10.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

Не существует строгих ограничений или значений порога, приведенных в Регламенте Радиосвязи, применимых к службе РНСС в полосе частот 1559–1610 МГц.

10.2.4 Эксплуатационные характеристики**10.2.4.1 ГАЛИЛЕО****10.2.4.1.1 Орбитальные характеристики**

В Таблице 24 ниже приведены орбитальные характеристики системы ГАЛИЛЕО, использованные для моделирования.

ТАБЛИЦА 24
Параметры группировки системы ГАЛИЛЕО

| Параметр | Значение |
|-----------------------|----------|
| Количество спутников | 27 |
| Количество плоскостей | 3 |
| Наклонение | 56 |
| Высота (км) | 23 616 |

В Таблице 25 ниже приведены орбитальные параметры каждого спутника в группировки.

ТАБЛИЦА 25
Параметры группировки ГАЛИЛЕО

| Номер спутника | Прямое восхождение узла восхождения | Истинная аномалия |
|----------------|-------------------------------------|-------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 40 |
| 3 | 0 | 80 |
| 4 | 0 | 120 |
| 5 | 0 | 160 |
| 6 | 0 | 200 |
| 7 | 0 | 240 |
| 8 | 0 | 280 |
| 9 | 0 | 320 |
| 10 | 120 | 13,33 |
| 11 | 120 | 53,33 |
| 12 | 120 | 93,33 |
| 13 | 120 | 133,33 |
| 14 | 120 | 173,33 |
| 15 | 120 | 213,33 |
| 16 | 120 | 253,33 |
| 17 | 120 | 293,33 |
| 18 | 120 | 333,33 |
| 19 | 240 | 26,66 |
| 20 | 240 | 66,66 |
| 21 | 240 | 106,66 |
| 22 | 240 | 146,66 |
| 23 | 240 | 186,66 |
| 24 | 240 | 226,66 |
| 25 | 240 | 266,66 |
| 26 | 240 | 306,66 |
| 27 | 240 | 346,66 |

10.2.4.1.2 Нежелательные излучения спутников ГАЛИЛЕО

В Таблице 26 приведен уровень нежелательных излучений, создаваемых системой ГАЛИЛЕО в полосе частот радиоастрономической службы 1610,6–1613,8 МГц.

ТАБЛИЦА 26
Нежелательное излучение системы ГАЛИЛЕО

| Параметр | Значение |
|--|----------|
| спектральная плотность э.и.и.м. (дБ(Вт/кГц)) | -68,5 |
| Высота (км) | 23 616 |
| spfd (дБ(Вт/(м ² · кГц))) | -227 |
| п.п.м.(дБВт/(м ² · 20 кГц)) | -214 |

На Рисунке 38 показаны результаты измерения излучения ОоВ системы ГАЛИЛЕО ОоВ в полосе частот службы РАС, производимой земной станцией мониторинга Leeheim. Данные измерения не могут отражать уровень внеполосного излучения в силу ограниченной чувствительности станции измерения. Красная линия показывает уровень чувствительности системы, равный примерно -191 дБ(Вт/м²) в полосе шириной 20 кГц.

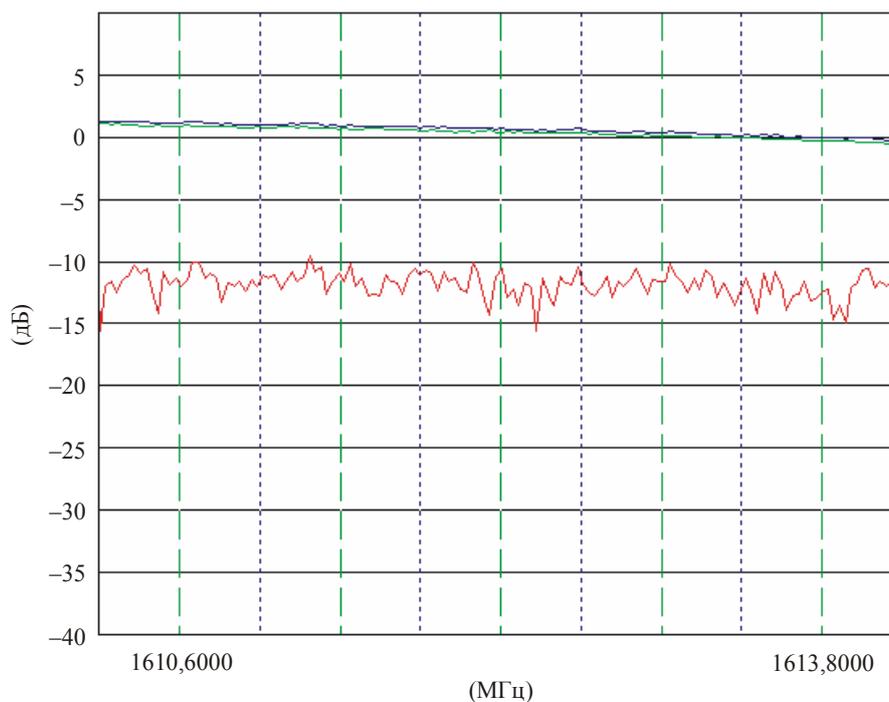
РИСУНОК 38

Измеренные уровни излучения ОоВ экспериментального спутника ГАЛИЛЕО в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц

Земная станция мониторинга Leeheim (Германия)

Задача: Галилео 1,6 ГГц - Деталь 2

Дата: 2006-07-05 03:27 UTC



На Рисунке 38 синяя кривая (верхняя кривая) отражает уровень измеренных излучений экспериментального спутника ГАЛИЛЕО + шум в условиях ясного неба, зеленая кривая (средняя кривая) отражает уровень шума в условиях ясного неба, а красная кривая (нижняя кривая) показывает разницу между синей и зеленой кривой.

10.2.4.2 GPS

10.2.4.2.1 Характеристики орбиты

В Таблице 27 ниже приведены характеристики орбиты GPS, использованные для моделирования.

ТАБЛИЦА 27
Группировка GPS

| Параметр | Значение |
|-----------------------|----------|
| Количество спутников | 24 |
| Количество плоскостей | 6 |
| Наклонение | 55 |
| Высота (км) | 20 200 |

В Таблице 28 приведены параметры орбиты каждого спутника группировки.

ТАБЛИЦА 28
Параметры группировки GPS

| Спутник | Прямое восхождение узла восхождения | Истинная аномалия |
|---------|-------------------------------------|-------------------|
| 1 | 272,847 | 11,676 |
| 2 | 272,847 | 41,806 |
| 3 | 272,847 | 161,786 |
| 4 | 272,847 | 268,126 |
| 5 | 332,847 | 80,956 |
| 6 | 332,847 | 173,336 |
| 7 | 332,847 | 204,376 |
| 8 | 332,847 | 309,976 |
| 9 | 32,847 | 11,876 |
| 10 | 32,847 | 241,556 |
| 11 | 32,847 | 339,666 |
| 12 | 32,847 | 11,796 |
| 13 | 92,847 | 135,226 |
| 14 | 92,847 | 167,356 |
| 15 | 92,847 | 265,446 |
| 16 | 92,847 | 35,156 |
| 17 | 92,847 | 197,046 |
| 18 | 152,847 | 302,596 |
| 19 | 152,847 | 333,686 |
| 20 | 152,847 | 66,066 |
| 21 | 212,847 | 238,886 |
| 22 | 212,847 | 345,226 |
| 23 | 212,847 | 105,206 |
| 24 | 212,847 | 135,346 |

10.2.4.2.2 Нежелательное излучение спутников GPS

Начиная с 1989 г., началась разработка первых полностью рабочих спутников GPS с улучшенными синтезаторами частот, которые обеспечивают дополнительную фильтрацию при помощи оптимизированного триплекера L диапазона. Такая способность улучшенной фильтрации была добавлена ко всем спутникам поколения Block II/IIA и последующим, включая IIR и IIR-M, для минимизации нежелательных излучений. Современный триплексер представляет собой 6-полюсный фильтр Чебышева с непрерывным спектром и применяется для излучений диапазонов L1 и L2. Серия модернизированных спутников GPS Block IIF будет иметь квадриплексную архитектуру, с тем чтобы работать с новыми сигналами гражданских служб в диапазоне L5, обеспечивая те же качественные показатели.

Выходная плотность потока нежелательных излучений спутников GPS не превышает -258 дБ(Вт/(м² · Гц)) в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц. Это значение объясняется ниже в бюджете линии связи, в Таблице 29.

ТАБЛИЦА 29

Характеристики нежелательных излучений GPS

| | Параметры | Значение |
|---|--|----------|
| 1 | Технические требования максимального излучения ОоВ (дБ(Вт/Гц)) | -110 |
| 2 | Уровень излучения ОоВ в худшем случае (от производителя) (дБ(Вт/Гц)) | -113 |
| 3 | $\lambda\Lambda(c/1612 \text{ МГц})$ (м) | 0,19 |
| 4 | Эффективный раскрыв антенны приемника ($\lambda^2/4\pi$) (дБм ²) | -25,4 |
| 5 | D = расстояние от спутника до антенны R_z (м) | 2,02E+7 |
| 6 | Потери в тракте передачи ($\lambda^2/((d*4\pi)^2)$) (дБ) | -182,7 |
| 7 | Усиление антенны передатчика (дБ) | 12 |
| 8 | Полученная п.п.м. (Ряд 2 – Ряд 4 + Ряд 6 + Ряд 7) (дБ(Вт/(м ² · Гц))) | -258,3 |
| 9 | Полученная п.п.м. (дБ(Вт/(м ² · 20 кГц))) | -215,3 |

10.2.4.3 Квазизенитная спутниковая система (QZSS)

10.2.4.3.1 Характеристики орбиты

В Таблице 30 ниже приведены характеристики орбиты системы QZSS, использованные для моделирования.

ТАБЛИЦА 30

Параметры группировки системы QZSS

| Параметр | Значение |
|----------------------------|----------|
| Количество спутников | 3 |
| Количество плоскостей | 3 |
| Наклонение (градусы) | 45 |
| Высота апогея (км) | 39 970 |
| Высота перигея (км) | 31 602 |
| Аргумент перигея (градусы) | 270 |

В Таблице 31 указаны параметры орбиты каждого спутника группировки.

ТАБЛИЦА 31
Параметры группировки QZSS (На момент 0:00 1 Января 2000)

| Номер спутника | Прямое восхождение узла восхождения (градусы) | Истинная аномалия (градусы) |
|----------------|---|-----------------------------|
| 1 | 205 | 129,21 |
| 2 | 325 | 0 |
| 3 | 85 | 230,49 |

10.2.4.3.2 Нежелательное излучение спутников QZSS

В Таблице 32 указан уровень нежелательных излучений, создаваемых системой QZSS в полосе частот радиоастрономической службы 1610,6–1613,8 МГц.

ТАБЛИЦА 32
Нежелательное излучение QZSS

| Параметр | Значение |
|--|----------|
| спектральная плотность э.и.и.м. (дБ(Вт/Гц)) | -86,9 |
| минимальное расстояние от спутника до поверхности Земли (км) | 31 602 |
| spfd (дБ(Вт/(м ² · кГц))) | -218 |
| п.п.м. (дБ(Вт/(м ² · 20 кГц))) | -205 |

10.2.4.4 Система ГЛОНАСС

10.2.4.4.1 Характеристики орбиты

В Таблице 33 приведены характеристики орбиты ГЛОНАСС, использованные для моделирования.

ТАБЛИЦА 33
Параметры группировки системы ГЛОНАСС

| Параметр | Значение |
|-----------------------|----------|
| Количество спутников | 24 |
| Количество плоскостей | 3 |
| Наклонение (градусы) | 64,8 |
| Высота (км) | 19 100 |

В Таблице 34 приведены параметры орбиты каждого спутника группировки.

ТАБЛИЦА 34
Параметры орбиты группировки ГЛОНАСС

| Спутник | Прямое восхождение узла восхождения (градусы) | Истинная аномалия (градусы) |
|---------|---|-----------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 45 |
| 3 | 0 | 90 |
| 4 | 0 | 135 |
| 5 | 0 | 180 |
| 6 | 0 | 225 |
| 7 | 0 | 270 |
| 8 | 0 | 315 |
| 9 | 120 | 0 |
| 10 | 120 | 45 |
| 11 | 120 | 90 |
| 12 | 120 | 135 |
| 13 | 120 | 180 |
| 14 | 120 | 225 |
| 15 | 120 | 270 |
| 16 | 120 | 315 |
| 17 | 240 | 0 |
| 18 | 240 | 45 |
| 19 | 240 | 90 |
| 20 | 240 | 135 |
| 21 | 240 | 180 |
| 22 | 240 | 225 |
| 23 | 240 | 270 |
| 24 | 240 | 315 |

10.2.4.4.2 Нежелательное излучение спутников ГЛОНАСС

Уровень нежелательных излучений системы ГЛОНАСС в полосе радиоастрономической службы 1610,6–1613,8 МГц со временем уменьшился (см. п. 10.5.2). Меры, предпринятые для уменьшения уровней нежелательных излучений, включают в себя:

- а) Изменение полосы частот системы ГЛОНАСС:
- С 1998 по 2005: Действующие спутники ГЛОНАСС использовали номиналы частот с номерами $k = 0 \dots 12$ (см. Таблицу 35) без всяких ограничений. Номинал частоты $k = 13$ использовался для испытаний.
 - После 2005 года: Все действующие спутники ГЛОНАСС используют номиналы частот с номерами $k = (-7, \dots, +6)$ (см. Таблицу 35).

Таким образом, был изменен частотный план системы, что привело к передаче основного излучения системы ГЛОНАСС в полоса частот ниже 1610,6–1613,8 МГц.

ТАБЛИЦА 35
Распределение несущих частот в системе ГЛОНАСС в полосе частот 1,6 ГГц

| Номер частоты <i>k</i> | Несущие частоты в подполосе частот L1 (МГц) | Номер частоты <i>k</i> | Номинальные несущие частоты в подполосе частот L1 (МГц) |
|---------------------------|---|---------------------------|---|
| 13 | 1 609,3125 | 02 | 1 603,125 |
| 12 | 1 608,75 | 01 | 1 602,5625 |
| 11 | 1 608,1875 | 00 | 1 602,0 |
| 10 | 1 607,625 | -01 | 1 601,4375 |
| 09 | 1 607,0625 | -02 | 1 600,8750 |
| 08 | 1 606,5 | -03 | 1 600,3125 |
| 07 | 1 605,9375 | -04 | 1 599,7500 |
| 06 | 1 605,375 | -05 | 1 599,1875 |
| 05 | 1 604,8125 | -06 | 1 598,6250 |
| 04 | 1 604,25 | -07 | 1 598,0625 |
| 03 | 1 603,6875 | | |

- b) Фильтрация: все спутники системы ГЛОНАСС, введенные в эксплуатацию после конца 2005 года, оборудованы фильтрами, которые значительно понижают внеполосное излучение в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц и в полосе частот 1660,0–1670,0 МГц до уровня, определенного в Рекомендации МСЭ-R RA.769 (значение на спутник).

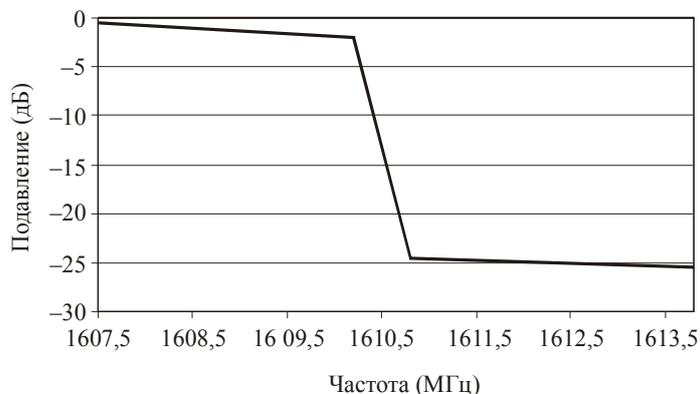
В Таблице 36 показано рассчитанное относительное подавление нежелательных излучений системы ГЛОНАСС вследствие использования таких фильтров.

ТАБЛИЦА 36
Рассчитанное подавление излучения спутников ГЛОНАСС вследствие использования фильтров

| Частота (МГц) | Подавление (дБ) |
|---------------|-----------------|
| 1 607,5 | -0,5 |
| 1 610,2 | -2 |
| 1 610,8 | -24,5 |
| 1 613,8 | -25,5 |

РИСУНОК 39

Характеристики вычисленного подавления излучений спутников ГЛОНАСС вследствие использования фильтров в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц



Отчет 2091-39

Известны проектные характеристики нового поколения спутников ГЛОНАСС, включая фильтр, который был встроен в один из спутников, запущенных в конце 2003 года. Наблюдения показали, что было достигнуто подавление вплоть до 19 дБ. Этого недостаточно, чтобы достичь вредного порогового уровня, определенного в Рекомендации МСЭ-R RA.769 и относящегося к полосе частот 1610,6–1613,8 МГц.

Было проведено моделирование сигналов, излучаемых каждым спутником ГЛОНАСС в полосе частот 1,6 ГГц на частотах от $k = -5$ до $k = 6$, а так же моделирование характеристик фильтра в соответствии с описанным ниже методом.

$$PDF(\beta_i) = L_F(f_c) + P_{si} + G_t(\theta_i) - L(\beta_i)$$

где:

- $PDF(\beta_i)$: п.п.м., излучаемая i -м спутником ГЛОНАСС в зависимости от угла места β , дБ(Вт/м²) относительно полосы частот Δf
- $L_F(f_c)$: ослабление фильтра, установленного на космической станции ГЛОНАСС (см. Рисунок 39), (дБ)
- P_{si} : общая мощность сигнала навигации, излученная i -м спутником ГЛОНАСС, дБВт относительно полосы частот Δf (дБВт)
- $G_t(\theta_i)$: усиление антенны космической станции ГЛОНАСС, передаваемое как функция угла θ (дБи)
- θ_i : угол между главной осью передающей антенной космической станции ГЛОНАСС точкой направления приема на земной поверхности (градусы)
- $L(\beta_i)$: потери на расхождение пучка как функция угла места β (дБ/м²)
- β_i : угол места космической станции ГЛОНАСС в точке приема на земной поверхности (градусы)
- N : количество спутников ГЛОНАСС в группировке
- i : индекс рассматриваемого спутника ГЛОНАСС (1, 2 ... N)
- Δf : эталонная ширина измерительной полосы частот (Гц)
- f_c : центральная частота измерительной позиции полосы частот Δf (Гц).

Общая мощность сигнала навигации, излученная i -м спутником ГЛОНАСС, дБВт в эталонной полосе частот Δf определяется по формуле:

$$P_{si} = 10 \log 10 \left(PD \cdot \int_{-\frac{\Delta f}{2}}^{\frac{\Delta f}{2}} S_i(f) df \right)$$

$$S_i(f) = \frac{\sin \left[|f - (fx_i - fc)| \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}{\left[|f - (fx_i - fc)| \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}$$

где:

- P_{si} : общая мощность сигнала навигации, излученная i -м спутником ГЛОНАСС, дБВт относительно полосы частот Δf (дБВт)
- PD : максимальный уровень плотности спектральной мощности сигнала навигации (Вт/Гц)
- $S_i(f)$: спектральная характеристика сигнала навигации, производимого i -ой передающей станцией
- f : рабочая частота (Гц)
- fx_i : несущая частота i -го спутника ГЛОНАСС (Гц)
- fc : центральная частота измерительной позиции полосы частот Δf (Гц)
- fe : ширина полосы сигнала навигации по уровню -3 дБ (Гц)
- Δf : эталонная ширина измерительной полосы частот (Гц)

В свою очередь потери на расхождение пучка $L(\beta_i)$ определены из уравнения:

$$L(\beta_i) = 10 \log 10 \left[4\pi (d(\beta_i))^2 \right]$$

$$d(\beta_i) = \sqrt{(H + R)^2 - \left(R \cos \left(\beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)^2} - R \sin \left(\beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right)$$

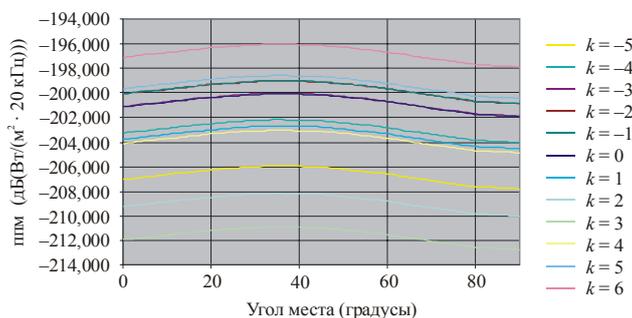
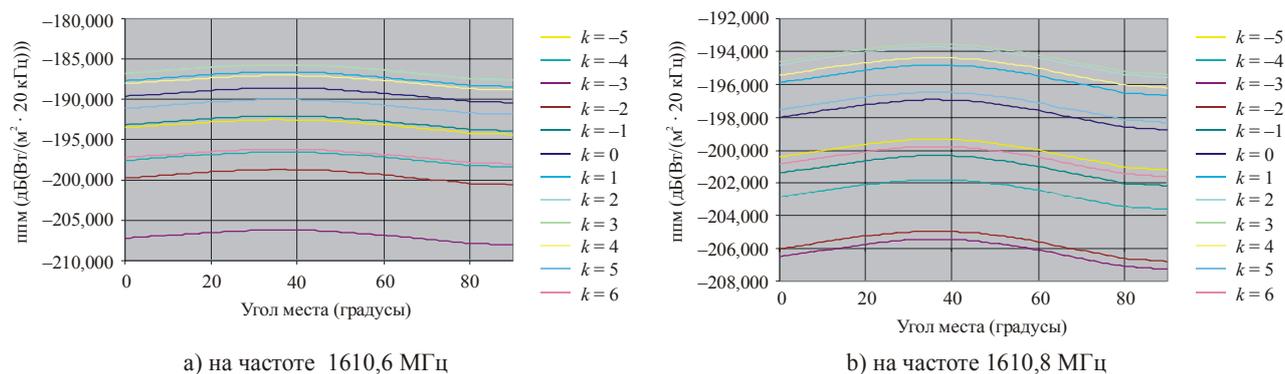
где:

- $L(\beta_i)$: потери на расхождение пучка как функция угла места β (дБ/м²)
- β_i : угол места космической станции ГЛОНАСС в точке приема на земной поверхности (градусы)
- $d(\beta_i)$: расстояние между передающей космической станцией и точкой приема на земной поверхности как функция угла места β (м).
- H : высота орбиты космической станции ГЛОНАСС над Земной поверхностью (м).
- R : радиус Земли (м).

Уровни п.п.м., обусловленные каждым спутником ГЛОНАСС (каждой несущей частотой), оснащенным упоминавшимся выше фильтром, были определены для углов места входного сигнала для трех существующих частот 1610,6, 1610,8 и 1613,8 МГц, соответственно (Рисунок 40).

РИСУНОК 40

Уровни п.п.м. для каждого спутника ГЛОНАСС (каждой несущей частоты)



с) на частоте 1613,8 МГц

Отчет 2091-40

Для моделирования э.п.п.м. уровни п.п.м., указанные в Таблице 37, для каждого спутника в группировки брались для частоты худшего случая (1610,6 МГц). Это пример частотного плана, который не обязательно отражает реальный частотный план, который может использоваться для будущих систем ГЛОНАСС. Для упрощения и поскольку существует очень мало вариаций с углом места, значения приведены к среднему значению для всех углов места.

Характеристики излучений ОоВ нового поколения спутников ГЛОНАСС с фильтрами были недавно измерены на земной станции мониторинга Leeheim. Выше, на Рисунке 41 представлены результаты данных измерений. Синяя кривая (верхняя кривая) отражает уровень измеренных излучений экспериментального спутника ГЛОНАСС+ шум в условиях ясного неба, зеленая кривая (средняя кривая) отражает уровень шума в условиях ясного неба, а красная кривая (нижняя кривая) показывает разницу между синей и зеленой кривой.

Измерения показывают, что на новых спутниках ГЛОНАСС по сравнению со старыми была улучшена модуляция и добавлен фильтр для уменьшения уровня нежелательных излучений до 19 дБ в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, распределенной РАС. Добавленный фильтр кажется смещенным относительно центра полосы частот 1610,6–1613,8 МГц.

Использование улучшенной модуляции решает существующую проблему несущественных пиков в полосе частот РАС 1660–1670 МГц. Центральная частота измеренного сигнала системы ГЛОНАСС составляет 1604,25 МГц, соответствуя номеру $k=4$ в Таблице 35. Данная несущая частоты является самым близким рабочим каналом к полосе частот службы РАС. Уровень п.п.м., измеренный на частоте 1610,6 МГц, равен примерно $-173,8$ дБ(Вт/(м² · 20 кГц)).

Данные измерения не могут отражать реальный уровень излучений ОоВ, так как чувствительность станции мониторинга не известна, и не ясно соответствует ли самый низкий уровень п.п.м., измеренный на частоте 1613,8 МГц (-189 дБ(Вт/(м² · 20 кГц))), излучению спутника ГЛОНАСС или шуму станции мониторинга.

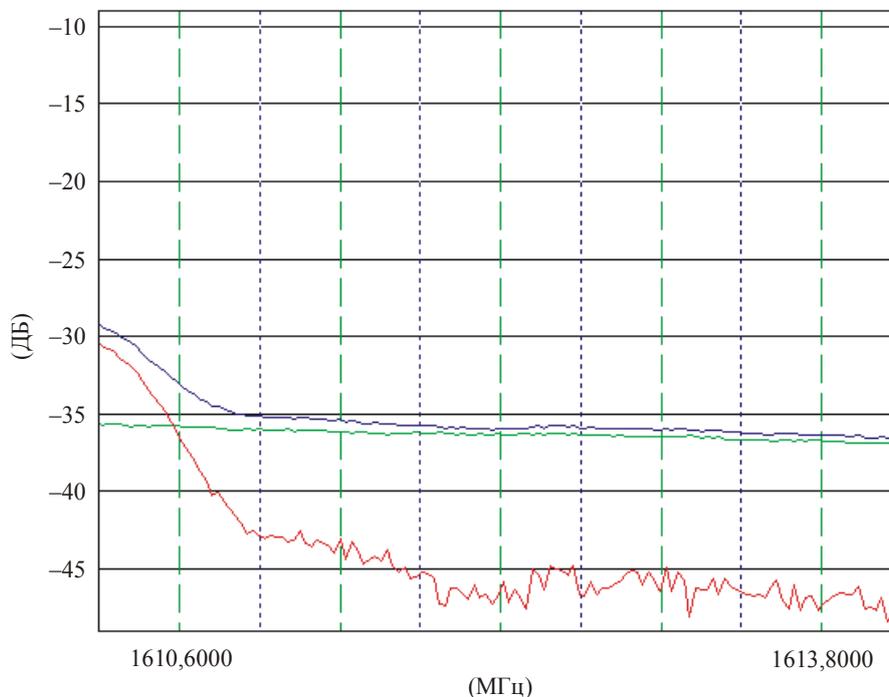
ТАБЛИЦА 37
Уровни п.п.м. системы ГЛОНАСС на спутник

| Спутник | Несущая k | п.п.м. (дБ(Вт/(м ² · 20 кГц))) | | |
|---------|-------------|--|-------------|-------------|
| | | 1 610,6 МГц | 1 610,8 МГц | 1 613,8 МГц |
| 1 | -5 | -193 | -200 | -207 |
| 2 | -4 | -197 | -203 | -203 |
| 3 | -3 | -206 | -206 | -201 |
| 4 | -2 | -198 | -206 | -201 |
| 5 | -1 | -192 | -201 | -200 |
| 6 | 0 | -188 | -198 | -201 |
| 7 | 1 | -187 | -197 | -203 |
| 8 | 2 | -186 | -194 | -209 |
| 9 | 3 | -186 | -194 | -212 |
| 10 | 4 | -187 | -195 | -204 |
| 11 | 5 | -190 | -197 | -199 |
| 12 | 6 | -197 | -201 | -197 |
| 13 | -5 | -193 | -200 | -207 |
| 14 | -4 | -197 | -203 | -203 |
| 15 | -3 | -206 | -206 | -201 |
| 16 | -2 | -198 | -206 | -201 |
| 17 | -1 | -192 | -201 | -200 |
| 18 | 0 | -188 | -198 | -201 |
| 19 | 1 | -187 | -197 | -203 |
| 20 | 2 | -186 | -194 | -209 |
| 21 | 3 | -186 | -194 | -212 |
| 22 | 4 | -187 | -195 | -204 |
| 23 | 5 | -190 | -197 | -199 |
| 24 | 6 | -197 | -201 | -197 |

РИСУНОК 41

Уровни измеренного излучения ОоВ спутников нового поколения ГЛОНАСС в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц

Земная станция мониторинга Leeheim (Германия)
 Задача: COSMOS 2411 ("Глонасс" 712) диапазон RA
 Дата: 2006-02-03 12:58 UTC Аз. 177,5°/Выс. 58.3°



Отчет 2091-41

10.3 Порог совместимости

Для негеостационарных группировок пороговый уровень э.п.п.м., равный $-258 \text{ дБ}(\text{Вт}/\text{м}^2)$, может быть получен для полосы частот 1610,6–1613,8 МГц из значения порогового уровня помех, вредных для радиоастрономических наблюдений, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.769, и максимального усиления радиоастрономической антенны, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.1631, которое для данной полосы частот равно 64 дБи.

10.4 Оценка помех

10.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

В Рекомендации МСЭ-R M.1583 представлена методика вычисления уровня нежелательных излучений для радиоастрономических станций, создаваемых негеостационарной системой. Она основана на разделении неба на ячейки с примерно равными размерами и на статистическом анализе, где линия визирования антенны РАС и стартовое время спутниковых группировок являются случайными переменными. Для каждого измерения уровень нежелательных излучений (выраженный в э.п.п.м.) усреднен по периоду 2000 с.

Учитывая моделирование для систем GPS, ГЛОНАСС и ГАЛИЛЕО, выбранные характеристики соответствуют радиотелескопу Effelsberg в Германии, который может вести наблюдения в полосе частот, учитывающем диаметр антенны, равный 100 м, и максимальное усиление примерно в 44 дБи. Диаграмма направленности антенны и максимальное усиление антенны взяты из Рекомендации МСЭ-R RA.1631.

Географические координаты:

Широта: $50,7^\circ$ с.ш. Долгота: $7,0^\circ$ в.д.

Учитывая моделирование для системы QZSS, выбранные характеристики соответствуют радиотелескопам Kashima и Usuda в Японии. Диаграмма направленности антенны и значение максимального усиления антенны, равное 64 дБи, взяты из Рекомендации МСЭ-R RA.1631.

Географические координаты радиотелескопа Kashima:

Широта: 35,95° с.ш. Долгота: 140,67° в.д.

Географические координаты радиотелескопа Usuda:

Широта: 36,12° с.ш. Долгота: 138,35° в.д.

С целью получения наиболее общих результатов, моделирование было проведено со значением угла места телескопа, равным 0°.

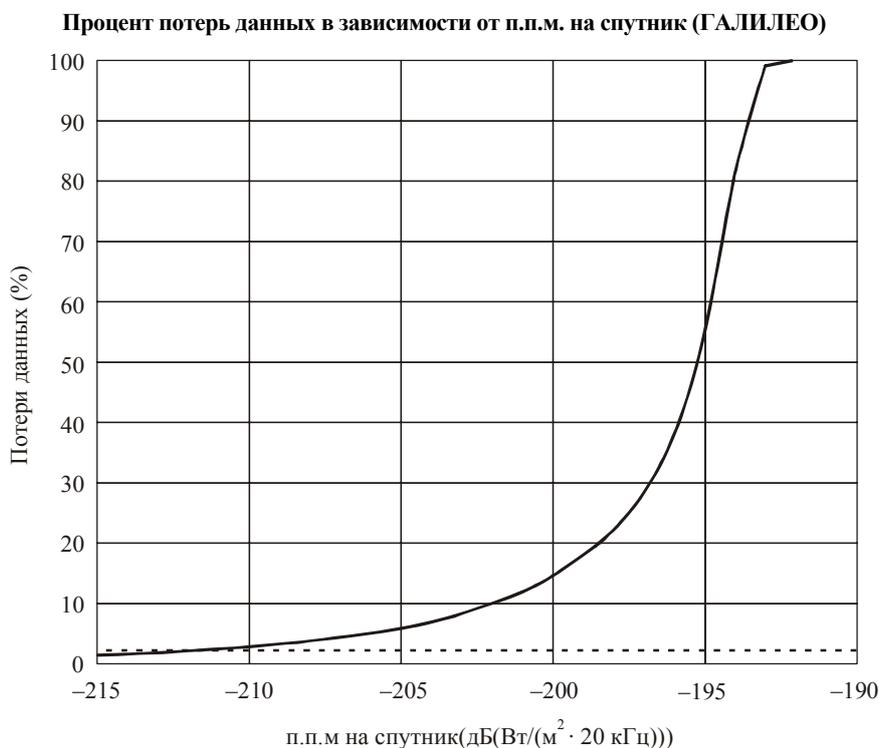
Для системы ГЛОНАСС п.п.м., излучаемая в полосе частот радиоастрономической службы, может отличаться на разных спутниках, поскольку каждый спутник может использовать разные несущие.

10.4.2 Вычисление уровня помех

10.4.2.1 ГАЛИЛЕО

На Рисунке 42 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.п.м., для указанных значений п.п.м. на спутник ГАЛИЛЕО, как объясняется в Рекомендации МСЭ-R RA.1513, превышение данного уровня равнозначно потере данных.

РИСУНОК 42



Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы ГАЛИЛЕО должен создавать п.п.м. меньше -212 дБ(Вт/(м² × 20 кГц)) в полосе частот радиоастрономической службы.

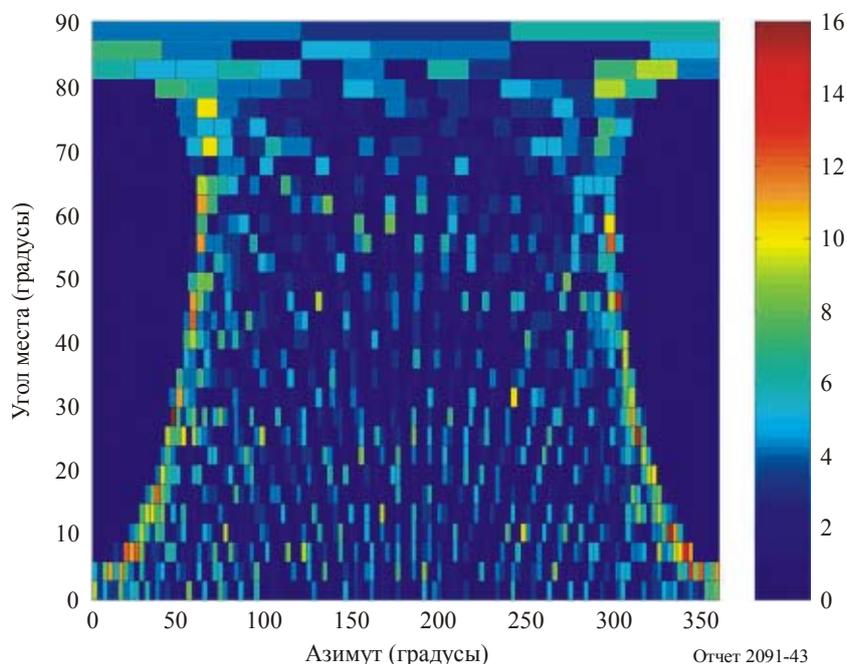
На Рисунке 43 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м., для каждого участка неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -212 дБ(Вт/(м² · 20 кГц)). Видно, что

он никогда не превышает 14% на ячейку, и потому никогда не приводит к блокаде неба на любом участке неба.

На Рисунке 43, 45, 47, 49 и 50 азимут 0° направлен к северу и увеличивается с запада на восток.

РИСУНОК 43

Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -212 дБ(Вт/(м² · 20 кГц)) (ГАЛИЛЕО)



10.4.2.2 GPS

На Рисунке 44 показан процент времени, в течение которого порог э.п.м. превышен на радиоастрономической станции для данного значения п.п.м., создаваемой на спутник GPS.

Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы GPS должен создавать п.п.м. меньше -211 дБ(Вт/(м² · 20 кГц)) в полосе частот радиоастрономической службы. Это значение идентично значению, определенному для системы ГАЛИЛЕО

На Рисунке 45 показано для каждого участок неба и для значения п.п.м. (на спутник), равного -212 дБ(Вт/(м² · 20 кГц)), процент времени, в течение которого превышает порог э.п.м.. Видно, что он никогда не превышает 18% на ячейку, и потому никогда не приводит к блокаде неба на любом участке неба.

10.4.2.3 QZSS

Так как моделирование для радиотелескопа Kashima приводит к уровням э.п.м. худшего случая, здесь показаны результаты вычислений для радиотелескопа Kashima.

На Рисунке 46 показан процент времени, в течение которого на радиоастрономической станции превышает пороговый уровень э.п.м., для указанных значений п.п.м. на спутник системы QZSS (как объясняется в Рекомендации МСЭ-R RA.1513, превышение данного уровня равнозначно потере данных).

Для того чтобы в течение более 98% времени не был превышен пороговый уровень э.п.м. в среднем по всему небу, каждый спутник системы ГАЛИЛЕО должен создавать п.п.м. меньше -203 дБ(Вт/(м² · 20 кГц)) в полосе частот радиоастрономической службы. Для справки, в случае радиотелескопа Usuda значение п.п.м. равно $-202,5$ дБ(Вт/(м² · 20 кГц)).

РИСУНОК 44

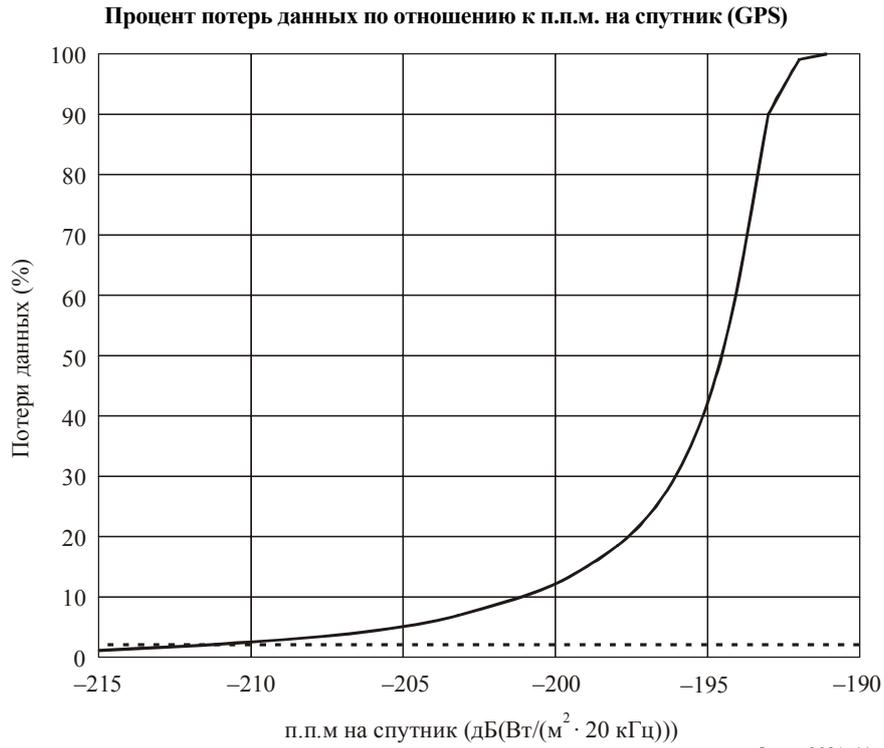


РИСУНОК 45

Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -212 дБ(Вт/(м² · 20 кГц)) (GPS)

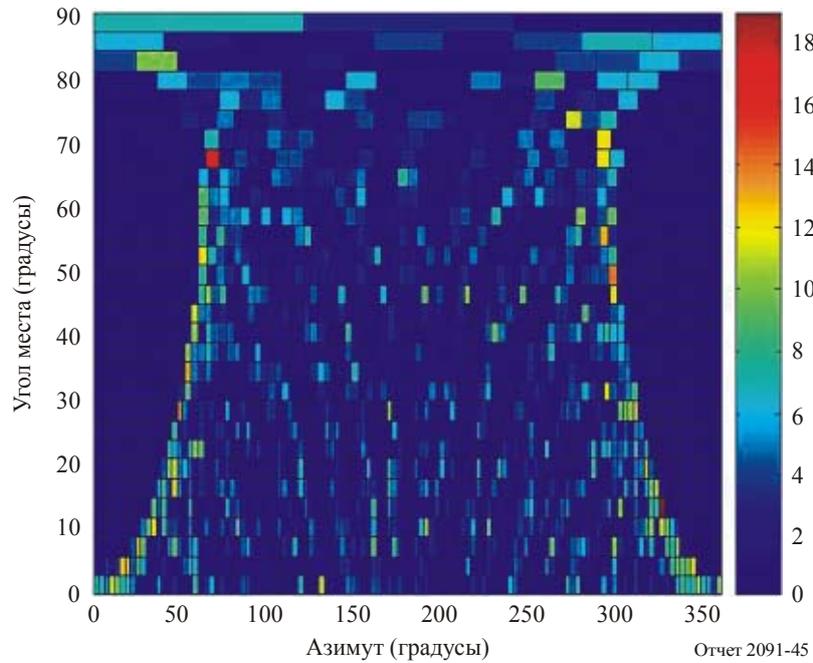
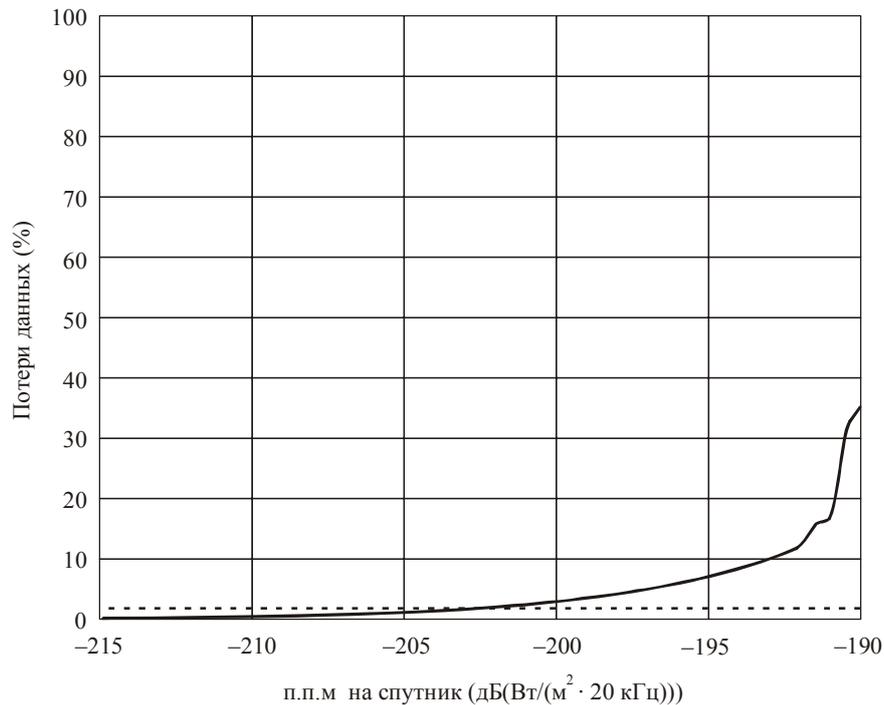


РИСУНОК 46

Процент потерь данных по отношению к п.п.м. на спутник (от системы QZSS на радиотелескоп Kashima)

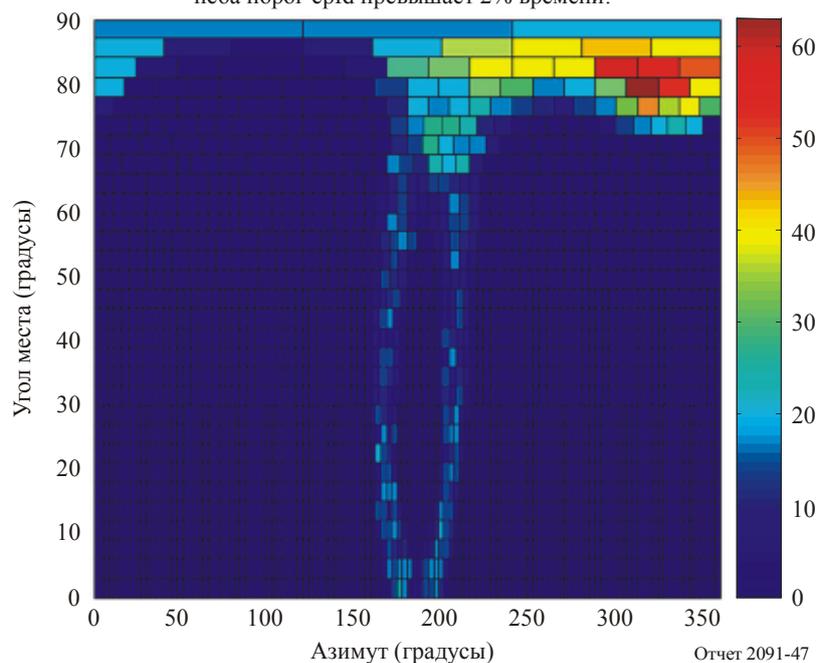


На Рисунке 47 показан процент времени, в течение которого превышает порог э.п.п.м., для каждого участка неба и для упоминавшейся выше п.п.м. на спутник на радиотелескопе Kashima.

РИСУНОК 47

Процент потерь данных по всему небу для значения п.п.м., равного -203 дБ(Вт/(м² · 20 кГц)) для радиотелескопа Kashima (QZSS)

Максимальное время, когда порог ерfd превышает значение 64%. И в 12,4% (288 участков) области неба порог ерfd превышает 2% времени.



Уровень нежелательных излучений спутников QZSS вычисляется по п. 10.2.4.3.2 и равен -205 дБ(Вт/(м²·× × 20 кГц)), таким образом, это значение на 2 дБ ниже уровня п.п.м., определенного ниже.

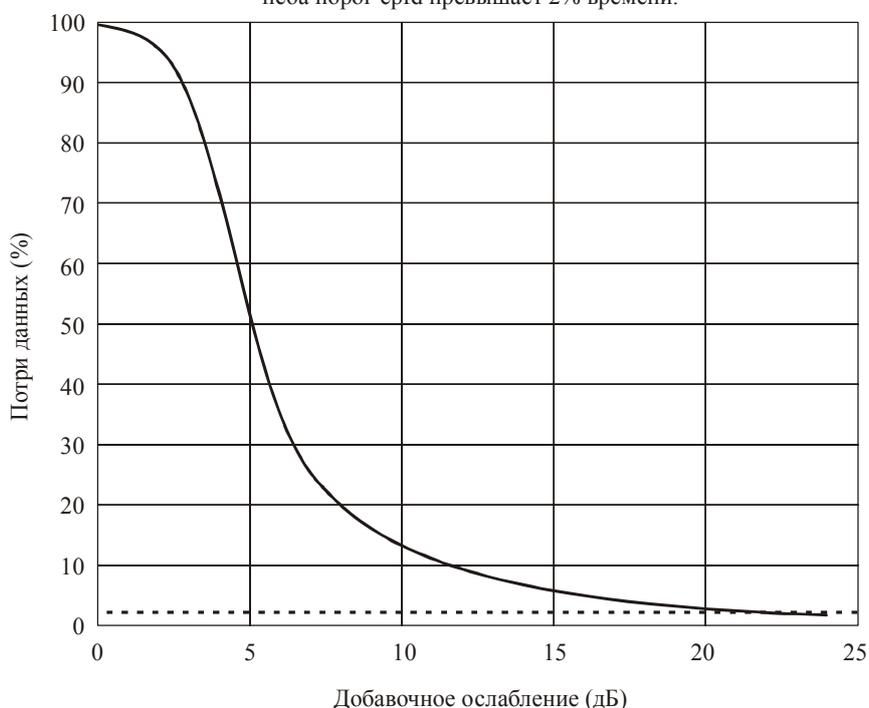
10.4.2.4 ГЛОНАСС

На Рисунке 48 показан процент потерь данных в ширине полосы 20 кГц с центром в 1610,6 МГц как функции ослабления, добавленной к ослаблению, которое может обеспечиваться существующим устройством фильтра спутников ГЛОНАСС, как показано на Рисунке 39.

РИСУНОК 48

Процент потерь данных по отношению к добавочному ослаблению к п.п.м. Таблицы 34 для 1610,6 МГц

Максимальное время, когда порог erfd превышает значение 64%. И в 12,4% (288 участков) области неба порог erfd превышает 2% времени.



Отчет 2091-48

На данном Рисунке показано, что процент потерь данных будет примерно 99,8% по всему небу, если все будущие спутники ГЛОНАСС будут излучать на тех же уровнях п.п.м., что и спутники ГЛОНАСС с фильтром, описанном на Рисунке 39. Чтобы учесть 2% разрешенных потерь данных, следует добавить дополнительное ослабление 22 дБ.

На Рисунках 49 и 50 показан процент потерь данных по всему небу на частоте 1610,6 МГц для, соответственно, уровней п.п.м. в Таблице 37 и для уровней п.п.м., которые были подавлены добавленными 22 дБ.

Следует заметить, что из-за отклонения от частоты 1610,6 МГц всего лишь на 200 кГц (частота 1610,8 МГц), чтобы обеспечить разрешенные 2% потерь данных следует добавить дополнительное ослабление 14,5 дБ вместо 22 дБ, в соответствии с характеристикой фильтра (см. Рисунок 39).

РИСУНОК 49

Процент потерь данных по всему небу для уровней п.п.м., указанных в Таблице 37, на частоте 1610,6 МГц

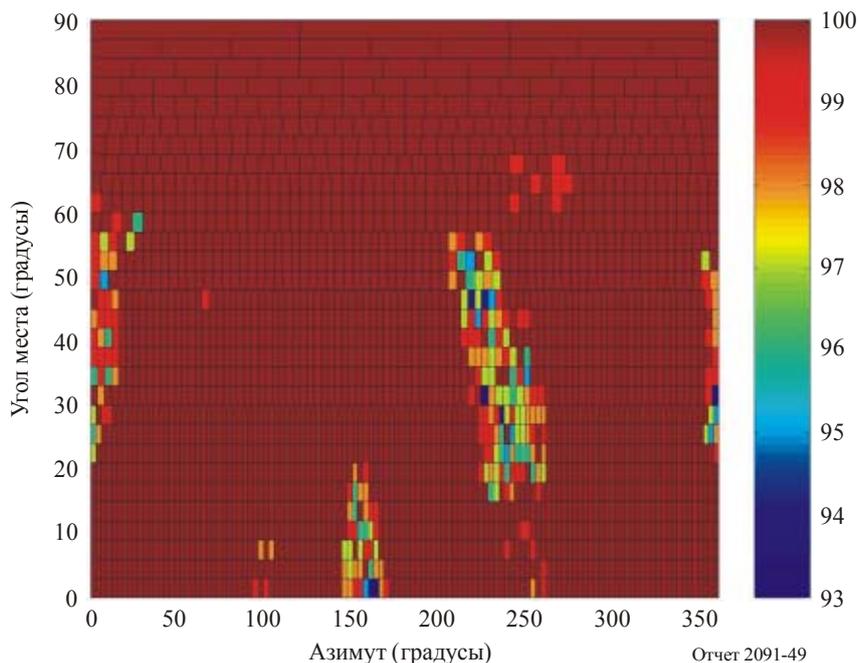
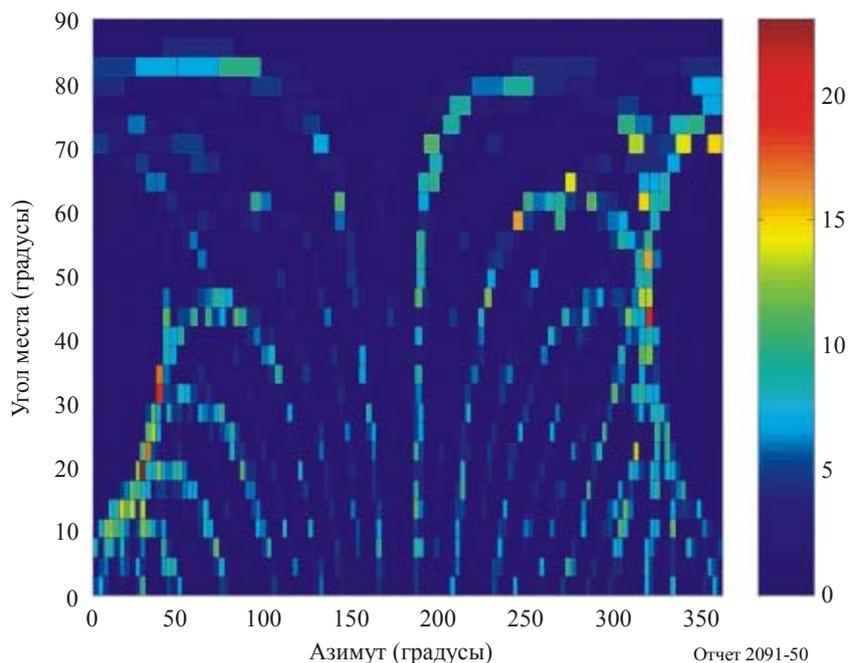


РИСУНОК 50

Процент потерь данных по всему небу для добавочного ослабления 22 дБ на частоте 1610,6 МГц



10.4.3 Полученные значения

Уровни п.п.м. нежелательных излучений, указанные в Таблицах 26, 29, 32 и 37 для систем ГАЛИЛЕО, GPS, QZSS и ГЛОНАСС, показывают, что системы ГАЛИЛЕО, GPS и QZSS РНСС будут соответствовать значению порогового уровня э.п.п.м., полученного из Рекомендации МСЭ-R RA.769 с поправкой соответственно на 2, 3,3 и 2 дБ.

Однако система ГЛОНАСС РНСС будет отличаться от значения порогового уровня э.п.п.м., полученного из Рекомендации МСЭ-R RA.769, в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц на 22 дБ.

10.5 Методы уменьшения помех

10.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

10.5.2 Спутниковая служба радионавигации

Для уменьшения нежелательных помех спутников службы РНСС могут быть применены как минимум два разных метода уменьшения помех:

- фильтрация;
- использование улучшенного частотного плана.

В подразделах ниже приведены примеры применения обоих методов к существующим системам РНСС.

Сначала две системы РНСС начинали работу в полосе частот 1559–1610 МГц, и обе использовали модуляцию с расширенным спектром. Обе системы начали работать без фильтрации своих передач, и помехи от обеих систем полоса частоты 1610,6–1613,8 МГц регистрировались на радиоастрономических станциях.

Нежелательные излучения в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц от одной из начальных рабочих систем, которая работает на нижних частотах в полосе частот РНСС, были уменьшены по требованию радиоастрономического сообщества с помощью внедрения фильтров на тех спутниках системы, которые запускались после того, как были замечены помехи (см. п. 10.2.4.2.2 выше).

Другая начальная система начала работать в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, когда данное распределение частот службе РАС было вторичным. Чтобы улучшить ситуацию с помехами в полосе частот, было заключено Соглашение между спутниковым оператором и Межсоюзной комиссией по распределению частот для радиоастрономии и исследованию космического пространства (IUCAF), представляющей радиоастрономическое сообщество по всему миру (Документ ВКР-93/43). В данном Соглашении содержится поэтапный подход, обеспечить через несколько лет выполнить критерии защиты службы. Учитывая данное Соглашение, был изменен частотный план, и частоты передачи переведены на частоты, расположенные намного ниже полосы частот 1610,6–1613,8 МГц. Также новые спутники системы оборудованы дополнительными фильтрами (см. Рисунок 39), уменьшающими излучения OoB и обеспечивающими уменьшение пороговых уровней, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Упомянутые фильтры установлены между передающей антенной и каждым передатчиком, создающим излучение сигналов навигации L-полосы частот синфазным суммированием мощности.

10.5.3 Возможное воздействие

10.5.3.1 РАС

Качественные показатели боковых лепестков антенн. Попытки уменьшить чувствительность радиоастрономической антенны к нежелательным излучениям, исходящим от космических станций, вероятно, повысят чувствительность радиоастрономического телескопа к земному излучению, и возможно уменьшат усиление его главного луча. Оба эти воздействия уменьшат пропускную способность канала телескопа и тем самым приведут к увеличению всего необходимого времени интеграции.

Гашение по времени и/или частоте. Гашение влечет за собой риск понижения достоверности данных и может привести к ошибкам в их научной интерпретации. Также гашение приводит к увеличению времени интеграции, необходимого для осуществления наблюдений, что соответствует потере пропускной способности канала телескопа.

Если система РНСС превышает пороговый уровень э.п.п.м., полученный из Рекомендации МСЭ-R RA.769, в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, может быть невозможным использование данной полосы частот службой РАС для наблюдений за молекулами гидроксила.

10.5.3.2 РНСС

Решения на уровне оборудования, например, фильтры, может быть трудно внедрить. В активных многокомпонентных антеннах для каждого компонента может потребоваться свой фильтр. Это увеличит вес спутника. Компенсация потерь в фильтрах потребует более мощных передатчиков, которые, в свою очередь, потребуют большую мощность питания, и таким образом, больших солнечных батарей. Увеличение веса может потребовать большего ракетносителя. Увеличение стоимости может быть значительным. Технические улучшения в устройстве фильтра помогут решить эту проблему. Внедрение фильтров в систему является более выполнимой задачей, особенно когда это происходит на стадии разработки системы.

Также установка фильтров на спутники ГЛОНАСС привело к возникновению следующих основных проблем:

- Фазирование излучений, которые формируют сигнал навигации на одной частоте, становится очень сложным. Недостаток соответствующего фазирования приводит к искажению диаграммы направленности излучения антенны и потерям мощности излучения сигнала навигации.
- Появляются дополнительные потери в полосе шириной фильтров, уменьшая таким образом уровень излученного сигнала навигации.
- Появляются дополнительные задержки модулирующего сигнала в полосе частот L1, что дает дополнительную ошибку в компенсации погрешности в ионосфере для пользователей.

В Российской Федерации считается, что ранее заключенные соглашения между IUCAF и администрацией системы ГЛОНАСС удовлетворены.

Требования дополнительного подавления нежелательных излучений в полосе частот радиоастрономической службы, помимо ослабления, обеспечиваемого фильтром, показанным на Рисунке 39, приведут к ухудшению проблемы, описанной выше. Если из решения по навигации были исключены сигналы навигации, охрана человеческой жизни, связанная с использованием системы ГЛОНАСС, будет ослаблена.

Поскольку началось производство спутников системы ГЛОНАСС, оборудованных фильтрами, в ближайшем будущем характеристики данного фильтра меняться не будут.

10.6 Результаты исследований

В данной полосе частот активной службой для случаев VLBI и наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны могут достигаться пороговые уровни помех, вредных для радиоастрономических наблюдений, как обсуждалось в п. 10.1.3, когда учитываются методы уменьшения помех. В данной полосе частот непрерывных наблюдений с одной антенной не производилось. Результат анализов в п. 10.4, показывают, что для существующей системы, разрабатываемой системы и другой планируемой системы РНСС, которые все работают или планируются

использовать в полосе частот 1559–1610 МГц, уровень нежелательных помех для полосы частот 1610–1613,8 МГц может удовлетворять критериям защиты радионавигационной службы, как следствие методов уменьшения помех. Они также показывают, что это не относится к другой существующей системе, работающей в том же полосе частот.

11 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 1613,8–1 626,5 МГц

11.1 РАС

11.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц распределена службе РАС на первичной основе.

П. 5.149 Регламента радиосвязи призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радионавигационной службы от вредных помех.

11.1.2 Тип наблюдений

Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц используется для наблюдений спектральной линии ОН (молекулы радикала гидроксила). Линия ОН, которая имеет свою частоту 1612 МГц, является одной из наиболее важных спектральных линий для радионавигации, и так и приведена в Рекомендации МСЭ-R RA.314. Радикал ОН был первым космическим радикалом, обнаруженным на радиочастотах (1963) и все еще остается мощным инструментом исследований. Радикал гидроксила (ОН) производит четыре спектральные линии на частотах примерно 1612, 1665, 1667 и 1720 МГц, и все они наблюдались как в нашей, так и в других галактиках. Изучение линий ОН дает информацию о широком спектре астрономических явлений, например, об образовании протозвезд и эволюции звезд. Для толкования большинства наблюдений, сделанных в линиях ОН, необходимо измерить относительную напряженность некоторых из этих линий. Потери возможности наблюдения любой из этих линий может помешать изучению некоторых классов физических явлений.

Эти линии ОН вырабатываются когерентным процессом, в котором концентрация радикалов ОН излучается "в такт", создавая узкополосное излучение. Они немного расширяются из-за физических условий в данной концентрации. Движения этих концентрированных масс относительно Земли влечет за собой доплеровский сдвиг линейного излучения. Наличие нескольких концентрированных масс в источнике, которые движутся с разной скоростью, создает более сложный спектр, состоящий из нескольких профилей наложенных друг на друга гауссовских линий разной ширины и амплитуды, и немного различающихся по частоте (из-за разных доплеровских сдвигов). Распределение полосы частот такой ширины требуется для того, чтобы учесть расширение и сдвиг спектра из-за дифференциального и суммарного движения источника.

На некоторых этапах своей эволюции определенные классы звезд излучают только линию с частотой 1612 МГц. Изучение такой линии позволяет астрономам измерять такие физические свойства данных звезд, как интенсивность, с которой газ извергается звездами и переходит в межзвездную среду. Некоторые свойства этих звезд не могут быть получены в результате любых других астрономических наблюдений. Измерение ОН излучающих звезд также использовались для измерения расстояния до центра галактики, для измерения массы центрального эксцентриситета нашей галактики, для изучения пространственного распределения молекулярных компонентов нашей галактики в других галактиках. Наконец, было зафиксировано чрезвычайно мощное мазерное излучение около ядер некоторых галактик. Данное мегамазерное излучение от галактических ядер позволяет астрономам изучать температуру и плотность молекулярного газа в их центре.

Спектральная линия ОН также наблюдается в кометах; существует небольшая гибкость в наблюдениях по расписанию данных "альтернативных и перспективных целей".

Наблюдения спектральных линий выполняются при помощи спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих частотных каналах (обычно 256–4096), распределенных по используемой полосе частот. Ширина и количество каналов должны быть достаточно

большими, чтобы точно воспроизводить спектр излучений, принятых радиотелескопом. Используются мгновенные значения ширины полосы частот – обычно $\sim 0,2\text{--}20$ кГц на частотный канал, в зависимости от научной программы.

Источники невелики, и измерения их величины и структуры часто требуют наблюдений с использованием методов VLBI.

11.1.3 Необходимые критерии защиты

В Рекомендации МСЭ-R RA.769 описываются критерии защиты для радиоастрономических наблюдений и приводятся пороговые уровни вредных помех для основных радиоастрономических полос частот. В полосе частот 1610,6–1613,8 МГц для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны, осуществляемых с помощью ширины полосы пропускания канала (одного из каналов спектрометра) в 20 кГц, предел порога п.п.м. равен -194 дБ(Вт/м²). Данная полоса частот используется только для наблюдений за радиолинией, но не для непрерывных наблюдений.

Для вредных помех от негеостационарных систем в Рекомендациях МСЭ-R RA.769 и МСЭ-R RA.1513 описаны критерии защиты и соответствующие методики, так же как в Рекомендации МСЭ-R S.1586 для систем ФСС и в Рекомендации МСЭ-R M.1583 для систем ПСС и РНСС.

Порог уровней вредных помех службе РАС, как определено и вычислено в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, ниже которых понижаются радиоастрономические данные и могут быть, в конечном счете, совсем потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не даст эффекта в плане доставки достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

11.1.4 Эксплуатационные характеристики

Наблюдения в полосе частот 1612 МГц выполняются в некоторых астрономических обсерваториях в некоторых странах мира. Наблюдения в полосе частот 1612 МГц иногда ведутся за случайными целями, например, кометами, которые создают кратковременные излучения на этой спектральной линии. Также часто в этой полосе частот производятся Наблюдения в режиме VLBI, иногда в Североамериканских и Европейских сетях.

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, -166 дБ(Вт/м²), 20 ,
VLBI, -R RA.769.

Наблюдения спектральных линий выполняются с помощью многоканальных спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих (обычно от 256 до 4096) частотных каналах, распределенных по полосе частот. Количество каналов и их индивидуальная ширина полосы выбираются так, чтобы в должной степени отражать спектр излучения от облака(ов) водорода в луче антенны.

Как правило, наблюдения производятся по-разному. В случае наблюдений непрерывных излучений может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений и не будут обработаны данные.

11.2 ПСС

11.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Полоса частот 1613,8–1626,5 МГц были выделены службе ПСС (космос-Земля) на вторичной основе во всем мире на Конференции ВАКР-92. Также ВАКР-92 предприняла следующие действия с учетом службы РАС в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц:

- а) перевод существующего радиоастрономического распределения из вторичного в первичный статус в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц; и
- б) принятие п. 5.372 Регламента радиосвязи, в котором сказано "Станции спутниковой службы радиоопределения и подвижной спутниковой службы не должны причинять вредных помех станциям радиоастрономической службы, использующим полосу 1610,6–1613,8 МГц (применим п. 29.13)". Данное примечание применяется к полосе частот 1610–1626,5 МГц.

11.2.2 Применение

Полоса частот 1610–1626,5 МГц распределена на первичной основе для линии связи "Земля-космос" службы ПСС по всему миру, с некоторыми ограничениями.

Полоса частот 1613,8–1626,5 МГц распределена службе ПСС (космос-Земля) на вторичной основе по всему миру. В настоящее время единственной системой, используемой данную полосу частот как в направлении Земля-космос, так и в направлении космос-Земля, является система HIBLEO-2, в то время как система HIBLEO-4 использует эту полосу частот в направлении Земля-космос. HIBLEO-2 – это спутниковая система, способная работать в полосе частот 1616–1626,5 МГц, но имеющая разрешение для работы только в полосе частот 1621,35–1626,5 МГц.

11.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

В Регламенте Радиосвязи не существует регламентарных ограничений для излучений ОоВ. Тем не менее, пп. 5.28–5.31 Регламента радиосвязи гласят, что *помимо прочего*, станции вторичной службы, по определению, не должны причинять вредных помех станциям первичных служб, которым частоты уже присвоены или могут быть присвоены позже, а также не могут требовать защиты от вредных помех со стороны станций первичной службы. Данное положение применяется к действиям по защите, как от внутриполосных излучений, так и от излучений ОоВ и будут применяться к вторичным линиям связи "космос-Земля" службы ПСС вне зависимости от определенных уровней п.п.м.. Таким образом, нет очевидной причины систематизировать определенные ограничения п.п.м..

В п. 29.13 Регламента радиосвязи сказано, что "Администрации должны принимать во внимание соответствующие Рекомендации МСЭ-R с целью ограничения помех радиоастрономической службе от других служб".

11.3 Порог совместимости

См. п. 11.1.3.

11.4 Оценка помех

11.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

См. п. 11.2.3, где даются ссылки на соответствующие Рекомендации МСЭ-R, относящиеся к негеостационарным системам.

11.4.2 Вычисление уровня помех

Нежелательные излучения в переводе на общую величину spfd спутниковых передач системы HIBLEO-2 в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц теоретически относятся к полосе частот между $-214 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$ и $-223 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$ на некоторых радиоастрономических станциях при условиях полной загрузки.

11.4.3 Полученные значения

В ходе совместных испытаний, выполненных системой HIBLEO-2 и Национальной Радиоастрономической Обсерваторией США (NRAO) в 1998 году, на этих обсерваториях были измерены значения spfd , изменяющиеся от -220 до $-240 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$. Данные значения относятся к так называемым голосовым каналам, которые включаются, когда идет процесс передачи информации. Кроме того, система HIBLEO-2 была предназначена для передачи сигналов вещания все время. Спектры вещательных каналов показали 9–10 узких, менее 40 кГц шириной, пиков в полосе частот радиоастрономической службы. Пиковые значения spfd приведены к среднему значению $-227 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$ в течение 90 мс. Из-за несоответствия между передачей спутниковой системы и другими параметрами и радиоастрономическим приемником и характеристиками антенны, например, радиотелескопы не предназначены для слежения за спутниками; доступные частоты приемника отличаются от 20 кГц, и т.д., было трудно оценить уровень spfd , но что получится при соблюдении условий из Рекомендации МСЭ-R RA.769, которая определяет значение уровня вредных помех, равно $-238 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$.

11.5 Методы уменьшения помех

11.5.1 РАС

Существуют различные методы, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе. Если данных методов не достаточно, могут быть предложены другие решения, например, соглашение между оператором спутниковой системы и радиоастрономическими обсерваториями.

В Регламенте Радиосвязи (РР) ничего не говорится о соглашениях такого рода по координации между службой РАС и активными службами. Однако в Статье 9 РР можно найти общие сведения касательно координаций и консультаций.

Соглашения по координации могут заключаться только в случае явного взаимного согласия обеих участвующих сторон, т.е. по существу оператора спутниковой системы и затрагиваемой астрономической обсерваторией. Для спутниковых каналов связи "космос-Земля" процедуры координации на национальном уровне между оператором спутниковой системы и радиоастрономическими обсерваториями применимы только, когда зона охвата спутниковой передачи меньше географических координат государства, в котором проводится координация, и когда область видимости передающей космической станции для радиоастрономической станции не превышает границ этого государства. Требуется найти международные решения для случаев, когда географическое распределение радиоастрономических станций на местном уровне, работающих на частоте 1,6 ГГц, таково, что в любой момент времени в пределах зоны видимости одного и того же спутника находятся радиоастрономические станции в нескольких странах.

Как правило, условия таких соглашений могут со временем изменяться, и должны пересматриваться в соответствии с требованиями, для чего должны быть определены контрольные точки. В случае несогласия в тексте Соглашения *априори* по взаимному согласию должен быть определен третейский орган.

Между операторами системы HIBLEO-2 и различными участниками радиоастрономического сообщества было достигнуто несколько соглашений. Общим элементом данных соглашений является то, что совокупные излучения системы HIBLEO-2 должны соответствовать пороговым уровням, указанным в Рекомендации МСЭ-R RA.769 для наблюдений с одной антенной в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц в обсерваториях с ежедневным периодом наблюдения, длящимся примерно от 4 до 8 часов.

Некоторые обсерватории согласились заблаговременно предупреждать о своих намерениях по наблюдению в данной полосе частот.

11.5.2 ПСС

Существует много методов, которые могут применяться для уменьшения нежелательных излучений, например, фильтрация. Это должно учитываться при разработке новых космических станций.

Если этих методов недостаточно, могут использоваться другие решения, например, соглашение между оператором спутниковой службы и радиоастрономическими обсерваториями (см. п. 11.5.1).

11.5.3 Возможное воздействие

11.5.3.1 РАС

Соглашения по координации между оператором спутниковой системы и радиоастрономическими обсерваториями, если они осуществимы, могут отрицательно повлиять на расписание наблюдений, на способность обсерватории соответствовать нуждам пользователей и на увеличение количества административных затрат. Сетевое воздействие соглашения по координации на работоспособность обсерватории не должно отражать ее неспособность соответствовать необходимым стандартам производительности.

11.5.3.2 ПСС

Решения на уровне оборудования, например фильтры, может быть трудно внедрить. В активных многокомпонентных антеннах для каждого компонента может потребоваться свой фильтр. Это увеличит вес спутника. Компенсация потерь в фильтрах потребует более мощных передатчиков, которые, в свою очередь, потребуют большую мощность питания, и таким образом больших солнечных батарей. Увеличение веса может потребовать большего ракетносителя. Увеличение стоимости может быть значительным. Технические улучшения в устройстве фильтра помогут решить эту проблему. Внедрение фильтров в систему является более выполнимой задачей, особенно, когда это происходит на стадии разработки системы.

Однако следует заметить, что согласно соглашению по координации, подписанному между оператором спутниковой системы HIBLEO-2 и Европейским радиоастрономическим сообществом, совокупный уровень п.п.м. системы HIBLEO-2 не должен превышать пороговых уровней, указанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769 для радиоастрономических станций, в пределах Европы с 1 января 2006 года. Это означает, что ожидается, что к этому времени будут внедрены соответствующие методы подавления помех.

Однако если обновление спутников продолжится после 1 января 2006 года, будет трудно улучшить фильтрацию на спутниках, не отвечающим требованиям фильтрации, которые все еще находятся на орбите, и использование других методов подавления помех может оказывать неблагоприятное экономическое воздействие.

11.6 Результаты исследований

11.6.1 Резюме

Уменьшение помех излучений было вызвано заключением соглашений между операторами системы HIBLEO-2 и операторами разных радиоастрономических учреждений. Использование этих методов уменьшения помех должно помочь соответствию критериев защиты и действий со спектральной линией, как описывается в п. 11.1.3, и наблюдений VLBI. В данной полосе частот не производится непрерывных наблюдений с одной антенной.

11.6.2 Заключение

Соответствующие методы уменьшения помех должны обеспечить эффективные наблюдения спектральной линии и VLBI в данной полосе частот.

12 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц, и подвижной спутниковой службы (ПСС) со спутниками на геостационарной орбите (космос-Земля), работающей в полосе частот 1525–1559 МГц

12.1 РАС

12.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц распределена для службы на первичной основе.

П. 5.149 Регламента радиосвязи призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех.

12.1.2 Тип наблюдений

Полоса частот 1610,6–1613,8 МГц используется для наблюдений спектральной линии ОН (молекулы радикала гидроксила). Линия ОН, которая имеет свою частоту 1612 МГц, является одной из наиболее важных спектральных линий для радиоастрономии, и так и приведена в Рекомендации МСЭ-R RA.314. Радикал ОН был первым космическим радикалом, обнаруженным на радиочастотах (1963) и все еще остается мощным инструментом исследований. ОН производит четыре спектральные линии на частотах примерно 1612, 1665, 1667 и 1720 МГц, и все они наблюдались как в нашей, так и в других галактиках. Изучение линий ОН дает информацию о широком спектре астрономических явлений, например об образовании протозвезд и эволюции звезд. Для толкования большинства наблюдений, сделанных в линиях ОН, необходимо измерить относительную напряженность некоторых из этих линий. Потери возможности наблюдения любой из этих линий может помешать изучению некоторых классов физических явлений.

Эти линии ОН вырабатываются когерентным процессом, в котором концентрация радикалов ОН излучается "в такт", создавая узкополосное излучение. Они немного расширяются из-за физических условий в данной концентрации. Движения этих концентрированных масс относительно Земли влечет за собой доплеровский сдвиг линейного излучения. Наличие в источнике нескольких концентраций, которые движутся с разными скоростями, создает более сложный спектр, состоящий из нескольких профилей наложенных друг на друга гауссовских линий разной ширины и амплитуды, и немного различающихся по частоте (из-за разных доплеровских сдвигов). Распределение полосы частот такой ширины требуется для того, чтобы учесть расширение и сдвиг спектра из-за дифференциального и суммарного движения источника.

На некоторых этапах своей эволюции определенные классы звезд излучают только линию с частотой 1612 МГц. Изучение такой линии позволяет астрономам измерять такие физические свойства данных звезд, как интенсивность, с которой газ извергается звездами и переходит в межзвездную среду. Некоторые свойства этих звезд не могут быть получены в результате любых других астрономических наблюдений. Измерение ОН излучающих звезд также использовались для измерения расстояния до центра галактики, для измерения массы центрального эксцентриситета нашей галактики, для изучения пространственного распределения молекулярных компонентов нашей галактики в других галактиках. Наконец, было зафиксировано чрезвычайно мощное мазерное излучение около ядер некоторых галактик. Данное мегамазерное излучение от галактических ядер позволяет астрономам изучать температуру и плотность молекулярного газа в их центре.

Спектральная линия ОН также наблюдается в кометах, существует небольшая гибкость в наблюдениях по расписанию данных "альтернативных и перспективных целей".

Наблюдения спектральных линий выполняются при помощи спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих частотных каналах (обычно 256–4096), распределенных по используемой полосе частот. Ширина и количество каналов должны быть достаточно большими, чтобы точно воспроизводить спектр излучений, принятых радиотелескопом. Используются мгновенные значения ширины полосы частот – обычно ~0,2–20 кГц на частотный канал, в зависимости от научной программы.

Источники невелики, и измерения их величины и структуры часто требуют наблюдений с использованием методов VLBI.

12.1.3 Необходимые критерии защиты

В Рекомендации МСЭ-R RA.769 описываются критерии защиты для радиоастрономических наблюдений и приводятся пороговые уровни вредных помех для основных радиоастрономических полос частот. В полосе частот 1610,6–1613,8 МГц для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны, осуществляемых с помощью ширины полосы пропускания канала (одного из каналов спектрометра) в 20 кГц, предел порога п.п.м. равен -194 дБ(Вт/м²).

Данная полоса частот используется только для наблюдений за радиолинией, но не для непрерывных наблюдений.

Порог уровней вредных помех службе РАС, как определено и вычислено в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, ниже которых понижаются радиоастрономические данные и могут быть, в конечном счете, совсем потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для обеспечения получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

12.1.4 Эксплуатационные характеристики

Наблюдения в полосе частот 1612 МГц выполняются в некоторых астрономических обсерваториях в некоторых странах мира. Наблюдения в полосе частот 1612 МГц иногда ведутся за случайными целями, например, кометами, которые создают кратковременные излучения на этой спектральной линии. Также часто в этой полосе частот производятся наблюдения в режиме VLBI, иногда в Североамериканских и Европейских сетях.

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, -166 дБ(Вт/м²), 20 ,
VLBI, -R RA.769.

Наблюдения спектральных линий выполняются с помощью многоканальных спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих (обычно от 256 до 4096) частотных каналах, распределенных по полосе частот. Количество каналов и их индивидуальная ширина полосы выбираются так, чтобы с достаточно достоверностью дискретизировать чистый спектр излучения от источника(ов) в луче антенны.

Как правило, наблюдения производятся по-разному. В случае наблюдений непрерывных излучений может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки, и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

12.2 ПСС

12.2.1 Распределенная полоса частот передачи

1525–1559 МГц (космос-Земля).

12.2.2 Применение

Служба ПСС.

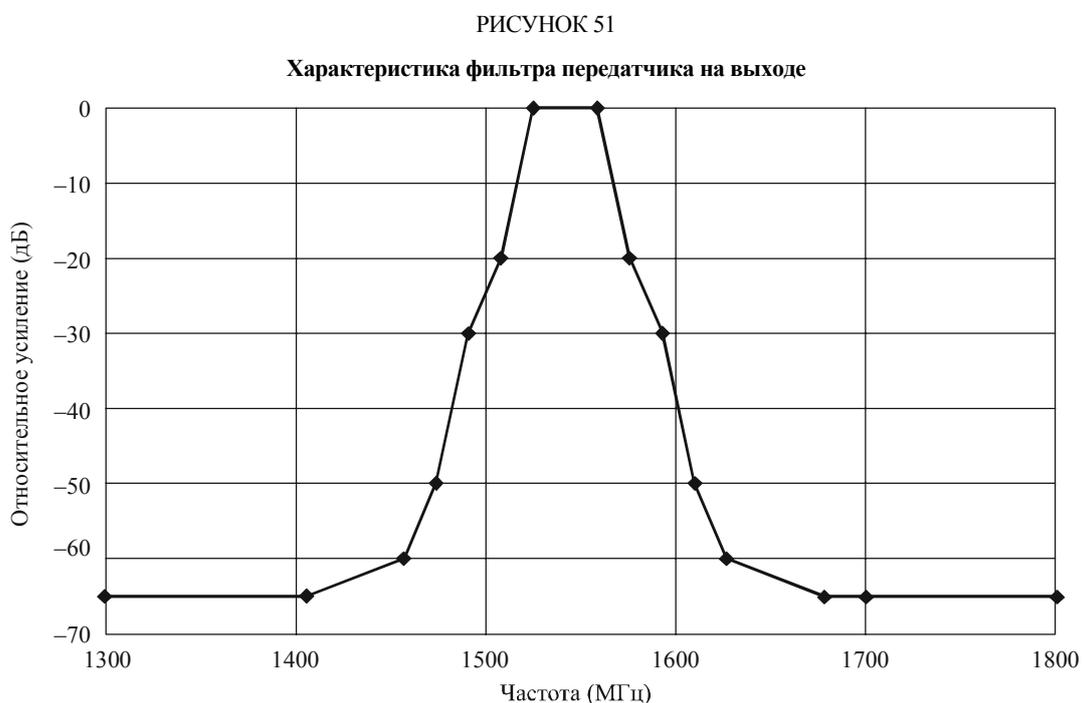
12.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

См. Приложение 4 к РР.

Уровень необходимого ослабления составляет $43 + 10 \log P$ дБс или 60 дБс, в зависимости от того, для какого уровня меньше наложенные ограничения, где P – это пиковая мощность на входе антенны (Вт) в любой полосе шириной 4 кГц.

12.2.4 Характеристики передачи

Усиление антенны равно 41 дБи. На Рисунке 51 показана характеристика фильтра передатчика на выходе.



Отчет 2091-51

12.2.5 Эксплуатационные характеристики

Уровень обычной пиковой мощности в сфокусированном луче геостационарного спутника службы ПСС ГСО на входе антенны равен 16 дБВт на частоте 5 МГц.

12.2.6 Внутриполосный уровень передачи

Внутриполосный уровень передачи равен -15 дБВт на частоте 4 кГц.

12.3 Порог совместимости

См. п. 12.1.3.

12.4 Оценка помех

12.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

Пик параметров в полосе частот спектральной плотности мощности (PSD), пиковое усиление антенны и измеренное ослабление выходного фильтра полосы частот 1525–1559 МГц на разных частотах используются для определения уровня п.п.м. на земной поверхности.

12.4.2 Вычисление уровня помех

В Таблице 38 на основании ожидаемых параметров полосы частот 1525–1559 МГц показаны типичные уровни мощности на выходе фильтра передатчика L-диапазона, уровни плотности э.и.и.м. на выходе антенны и уровни п.п.м. на земной поверхности на различных частотах.

12.4.3 Полученные значения

Полученное значение равно -192 дБ(Вт/м²) на частоте 4 кГц.

Переведя данные значения для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны, мы получим значение п.п.м., равное -185 дБ(Вт/м²) на частоте 20 кГц для наблюдений спектральной линии: на основе вышеуказанных параметров одной геостационарной системы спутниковой подвижной связи одного оператора следует, что существует нехватка 9 дБ, чтобы соответствовать критериям защиты для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны.

ТАБЛИЦА 38

Предполагаемые значения PSD, плотности э.и.и.м. и уровня на земной поверхности спутника Inmarsat-4 в полосе частот 1525–1559 МГц

| Частота (МГц) | PSD на выходе фильтра (дБ(Вт/4 кГц)) | Плотность э.и.и.м. на выходе антенны (дБ(Вт/4 кГц)) | п.п.м. на земной поверхности (дБ(Вт/(м ² · 4 кГц))) |
|---------------|--------------------------------------|---|--|
| 1300 | -80 | -39 | -202 |
| 1406 | -80 | -39 | -202 |
| 1457 | -75 | -24 | -197 |
| 1474 | -65 | -14 | -187 |
| 1491 | -45 | -4 | -167 |
| 1508 | -35 | 6 | -157 |
| 1525 | -15 | 26 | -137 |
| 1559 | -15 | 26 | -137 |
| 1576 | -35 | 6 | -157 |
| 1593 | -45 | -4 | -167 |
| 1610 | -65 | -14 | -187 |
| 1627 | -75 | -24 | -197 |
| 1678 | -80 | -39 | -202 |
| 1700 | -80 | -39 | -202 |
| 1800 | -80 | -39 | -202 |

12.5 Методы уменьшения помех

12.5.1 Радиоастрономическая служба

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T , т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

12.5.2 Спутниковая служба персональной сотовой связи

Чтобы улучшить уровни, указанные в Таблице 37, при разработке новых спутниковых станций следует учитывать следующие методы уменьшения помех:

- широкополосная амплитудно-частотная характеристика антенны;
- характеристики ослабления промежуточных фильтров;
- усиление амплитудно-частотной характеристики твердотельных усилителей мощности;
- характеристики модуляции отдельных несущих;
- ослабление продуктов интермодуляции с учетом мощности несущих.

12.5.3 Возможное воздействие

12.5.3.1 РАС

На основе анализа из п. 12.4 и природы методов уменьшения помех, перечисленных в п. 12.5.1, можно ожидать некоторые потери времени наблюдения, когда спутники проходят через главный или внутренние боковые лепестки антенны. Объем данных потерь будет зависеть от антенны радиотелескопа и количества спутников. Результаты потерь данных обсуждаются в Рекомендации МСЭ-R RA.1513.

12.5.3.2 ПСС

Методы уменьшения помех, приведенные в п. 12.5.2, считаются технически возможными для геостационарных систем.

12.6 Результаты исследований

12.6.1 Резюме

На основе параметров одной геостационарной системы космической подвижной связи одного оператора и учитывая факторы уменьшения помех, указанные в п. 12.5.2, весьма вероятно, что уровни нежелательных излучений от данной спутниковой системы соответствуют критериям, обсуждающимся в п. 12.1.3. В данной полосе частот не производится непрерывных наблюдений с одной антенной.

12.6.2 Заключение

Критерии защиты соблюдаются для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны и наблюдениями VLBI.

13 Анализ совместимости систем РАС (космос-Земля), работающих в полосе частот 2690–2700 МГц и радиовещательной спутниковой (РСС) и фиксированной спутниковой (ФСС) служб (космос-Земля), работающих в полосе частот 2655–2690 МГц

13.1 РАС

13.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 2690–2700 МГц была распределена на первичной основе службам РАС, ССИЗ (пассивной) и СКИ (пассивной).

В п. 5.340 Регламента радиосвязи сказано, что в данной полосе частот "все излучения запрещены".

13.1.2 Тип наблюдений

Данная полоса частот в первую очередь представляет интерес для изучения непрерывных излучений радиоисточников.

Основной задачей для изучения непрерывных излучений радиоисточников является необходимость дискретных наблюдений данных источников в очень широкой полосе частот. Наблюдения на многих разных частотах помогают определить контур спектра излучений от данных источников, что, в свою очередь, может дать информацию о физических параметрах источников излучений, таких, как плотность, температура, магнитные поля, вместе с информацией о своем времени существования. Знание данных физических параметров очень важно для понимания физических процессов, в результате которых получается радиоизлучение. Многие внегалактические радиоисточники демонстрируют "разрыв" в своем нетермическом спектре в районе между 1 и 3 ГГц, и измерения континуума на частоте ~2,7 ГГц важны для точного определения такой спектральной характеристики.

Эта полоса частот хороша для измерений континуума частично потому, что фоновое излучение галактики низкое, а также потому, что радиоастрономические приемники имеют превосходное качество и принимают чрезвычайно мало шумов на этих частотах.

Она также полезна для галактического изучения облаков ионизированного водорода и общего диффузного излучения галактики. Так как на этих частотах доступные радиотелескопы имеют подходящее угловое разрешение (узкие лучи порядка 10 угловых минут для радиотелескопов), были выполнены многие полезные наблюдения галактических плоскостей, включая районы центра галактики, которые невидимы для оптических волн из-за межзвездного поглощения пылевых частиц. Центр нашей галактики – это вероятно наиболее важный район, и он может наблюдаться только в инфракрасной области спектра, так как данные волны не испытывают влияния пылевых частиц в межзвездном пространстве (оптические волны поглощаются и рассеиваются этими пылевыми частицами). Изучение ядер галактик, включая ядро нашей собственной галактики, является чрезвычайно важной и существенной темой в астрономии.

Проблемы, которые могут изучаться в данных предметах, включают состояние вещества и возможность существования черных дыр в ядрах галактик, взрывная активность и появление интенсивных двойных радиоисточников из ядер галактик, влияние ядер галактик на морфологическую структуру галактик, формирование галактик и квазаров и многие другие важные астрофизические явления.

Важным аспектом изучения радиоволн является поляризация излучения, наблюдаемого от радиоисточников. Часто выясняется, что радиоисточники слабо линейно поляризованы, с углом положения, зависящим от частоты. Данный эффект происходит из-за того, что среда распространения, в которой распространяются радиоволны, состоит из заряженных частиц, электронов и протонов, при наличии магнитных полей. Определение степени и угла поляризации дают нам информацию о магнитных полях и плотности электронов межзвездной среды и, в определенных случаях, о природе самих

источников излучения. Степень поляризации радиоволн выше на более высоких частотах. Полоса частот 2690–2700 МГц важна для измерений поляризации.

13.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769, и указаны пороговые уровни вредных помех для первичных радиоастрономических полос частот. В полосе частот 2690–2700 МГц для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной, использующих всю ширину частоты 10 МГц, значение пределов порога п.п.м. равно -177 дБ(Вт/м²).

Данная полоса частот используется только для непрерывных наблюдений, но не для наблюдений спектральной линии.

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, -161 дБ(Вт/м²), для всей полосы частот 20 .

Для вредных помех от негеостационарных систем критерии защиты и соответствующие методики описаны в Рекомендациях МСЭ-R RA.769 и МСЭ-R RA.1513, так же как в Рекомендации МСЭ-R S.1586 для систем ФСС.

Пороги уровней вредных помех службе РАС, как определено и вычислено в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, выше которых радиоастрономические данные понижаются и могут быть в конечном счете совсем потеряны. В принципе, в идеальных условиях, небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно, уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не даст эффекта в плане доставки достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

13.1.4 Эксплуатационные характеристики

Наблюдения в полосе частот 2690–2700 МГц выполняются в некоторых астрономических обсерваториях в некоторых странах мира. Наблюдения в этой полосе частот иногда ведутся за случайными целями, например, кометами, которые создают кратковременные излучения на этой спектральной линии. Также часто в этой полосе частот производятся наблюдения в режиме VLBI, иногда в Североамериканских и Европейских сетях.

Обычно наблюдения производятся по-разному: может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

Расширенная зона радиоизлучения может быть отображена при помощи записи излучения сетки точек, покрывающих интересующую зону. Могут выполняться как непрерывные наблюдения, так и наблюдения спектральной линии. В случае радиотелескопов с одной антенной каждое наблюдение с сеткой точек является отражением всей мощности (в случае континуума) или спектра излучения (в случае спектральной линии), исходящих из данной позиции в небе; промежуток между точками в сетке не должен превышать половины ширины диаграммы направленности антенны. Когда наблюдения производятся с помощью радиотелескопа с синтетической апертурой, там, где область, отображаемая на карте, выходит за границы мгновенной зоны нанесения на карты, точки сетки не должны отстоять друг от друга более чем на половину ширины диаграммы направленности одной из антенн радиотелескопа.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки, и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы

синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

13.2 Полоса частот активных служб

13.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Подполоса частот 2655–2670 МГц распределена службе РСС на первичной основе.

Подполоса частот 2670–2690 МГц распределена на первичной основе службам ПСС (Земля-космос), ФСС (Земля-космос) в Районах 2 и 3, и службе ФСС (космос-Земля) в Районе 2.

К полосе частот 2655–2670 МГц применяются следующие важные положения Регламента радиосвязи: 5.149, 5.413, 5.415, 5.416 и 5.420, а к полосе частот 2670–2690 МГц применяются положения: 5.149, 5.419 и 5.420. Наиболее значимыми по отношению к рассматриваемому предмету являются следующие положения:

П. 5.149 Регламента радиосвязи призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех.

В п. 5.413 Регламента радиосвязи сказано, что "При проектировании систем радиовещательной спутниковой службы в полосах между 2500 и 2690 МГц администрации должны принимать все необходимые меры для защиты радиоастрономической службы в полосе 2690–2700 МГц".

В п. 5.415 РР сказано, что в данной полосе частот для службы ФСС, работающей в Районах 2 и 3: "...Плотность потока мощности у поверхности Земли в направлении космос–Земля не должна превышать величин, указанных в Таблице 21–4 Статьи 21".

13.2.2 Применение

В данной полосе частот есть работающие станции радиовещательной спутниковой службы (РСС), особенно обслуживающие Индию. Эти службы удовлетворяют определению выделения службы РСС.

13.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

Существуют ограничения уровня п.п.м. для службы РСС для коллективного приема и для систем ФСС, как указано в Таблице 21–4 РР.

13.2.4 Характеристики передатчика

13.2.4.1 Системы ФСС/ПСС

На основе типовых характеристик систем, работающих в данной полосе частот, предполагается, что системы ФСС/ПСС используют необходимую полосу пропускания 20 МГц и работают, применяя ограничение уровня п.п.м., указанное в Статье 21 РР: $-137 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 4 \text{ кГц))}$ (т.е. $-100 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 20 \text{ МГц))}$).

13.2.4.2 Системы РСС

На основе типовых характеристик систем, работающих в данной полосе частот, предполагается, что системы ФСС/ПСС используют необходимую полосу пропускания 18 МГц и работают, применяя ограничение уровня п.п.м., указанное в Статье 21 РР: $-137 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 4 \text{ кГц))}$ (т.е. $-100,5 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 20 \text{ МГц))}$).

13.2.5 Эксплуатационные характеристики

Следующие вычисления применимы только к геостационарным системам.

13.2.6 Уровень внутриполосной передачи

Коллективный прием службы РСС и уровни п.п.м. службы ФСС соответствуют уровням из Таблицы 21–4 РР.

13.3 Порог совместимости

См. п. 13.1.3.

13.4 Оценка помех

13.4.1 Методика, использованная для вычисления уровня помех

13.4.1.1 Система ПСС/ФСС

В Рекомендации МСЭ-R SM.1541 описывается маска для нежелательных излучений в пределах домена ОоВ, охватывающая случай систем ФСС/ПСС.

13.4.1.2 Система РСС

Служба РСС работает круглосуточно, в областях обслуживания сигнал будет предоставляться все время с одинаковым спектром и мощностью. С другой стороны не существует радиоастрономических станций, которые используют эту полосу частот для наблюдения все время. Если возникнет проблема помех, геостационарные спутниковые системы будут выступать в роли устойчивых передатчиков на неизменных позициях в небе, в то время как небесные источники будут сдвигаться относительно их из-за вращения Земли, так что помехи не могут полностью помешать наблюдению за источниками.

Помехи радиотелескопам с одной антенной будут ухудшать наблюдения на значение, являющееся функцией угла между спутником(ами) и опорным направлением антенны, и может быть вычислено при помощи таких методик, как метод э.п.п.м. (см. п. 13.1.3).

Вычисление уровня нежелательных излучений при помощи маски ОоВ для систем РСС, которая сейчас содержится в Рекомендации МСЭ-R SM.1541, показало, что, следуя данной маске дБс, в некоторых случаях уровень излучений в пределах домена ОоВ может быть выше уровня излучений в пределах необходимой полосы частот. Поэтому для системы РСС была разработана новая маска ОоВ.

Излучения ОоВ станции, работающей в полосах частот, выделенных службе РСС, должны быть подавлены ниже максимального уровня PSD, на эталонной частоте 4 кГц (для систем, работающих выше 15 ГГц, может использоваться эталонная частота 1 МГц вместо 4 кГц) в пределах необходимой полосы частот, по следующей формуле:

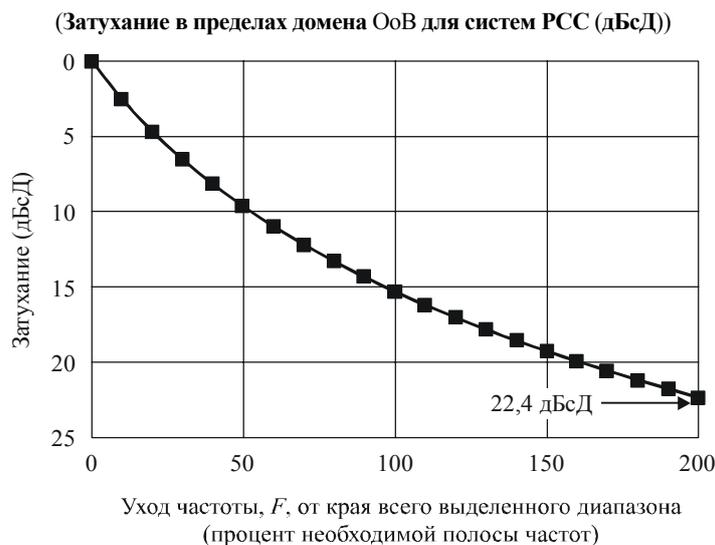
$$32 \log \left(\frac{F}{50} + 1 \right) \text{ dBsd}$$

где F – это уход частоты от края всей присвоенной полосы частот, выраженный в виде процента необходимой полосы частот. Замечено, что область внеполосных (ОоВ) излучений начинается на краях всей присвоенной полосы частот.

Маска излучения ОоВ экспонируется на боковую границу или точку, где она равна ограничению побочных излучений из Приложения 3 РР, там, где меньше затухание. Затухание побочных излучений для космических служб равно $43 + 10 \log P$ или 60 дБс на эталонной частоте 4 кГц, там, где меньше затухание, или, соответственно, $19 + 10 \log P$ или 36 дБс на эталонной частоте 1 МГц, там, где меньше затухание.

РИСУНОК 52

Маска ОоВ для систем службы РСС



Отчет 2091-52

13.4.2 Вычисление уровня помех

В случае, когда применение п. 1.153 Регламента радиосвязи повышает совместимость, должно учитываться данное примечание:

"1.153 *ширина занимаемой полосы*: Ширина такой полосы частот, за нижним и верхним пределами которой каждая из излучаемых *средних мощностей* равняется определенному проценту $\beta/2$ от всей *средней мощности* данного излучения.

Если в какой-либо Рекомендации МСЭ-R не оговорено иначе для соответствующего *класса излучения*, то значение $\beta/2$ следует брать равным 0,5%".

Если нижний край занятой ширины полосы равен или выше нижней границы выделенной полосы спутниковой службы, общая мощность нежелательных излучений на частотах ниже выделенной полосы частот не будут превышать 0,5% P , где P – это внутриполосная мощность. Поэтому общая мощность нежелательных излучений на частотах в полосе частот 50,2–50,4 ГГц службы ССИЗ не будет превышать значения $P - 23$ дБ.

13.4.3 Полученные значения

13.4.3.1 Случай ФСС/ПСС

Применение Рекомендации МСЭ-R SM.1541 для систем ФСС/ПСС, использующих необходимую частоту, приводит к использованию встроенной п.п.м. по всей полосе частот службы РАС, равной 108,5 дБ(Вт/(м² · 10 МГц)). Применение п. 1.153 Регламента радиосвязи дает общее значение п.п.м., равное -123 дБ(Вт/(м² · 10 МГц)). Это значит, что критерии защиты для непрерывных наблюдений не будут соблюдены.

П.п.м., интегрированной по 20 кГц, на краю полосы частот службы РАС равна -130 дБ(Вт/(м² · 20 кГц)), т.е. примерно на 30 дБ выше критериев защиты VLBI.

13.4.3.2 Случай РСС

Учитывая пределы п.п.м., указанные в Статье 21 (-137 дБ(Вт/(м² · 4 кГц))), предполагая, что ширина необходимой полосы равна 18 МГц, и применяя маску, описанную в п. 13.4.1.2, для систем РСС, работающих ниже 2670 МГц, уровень максимальной п.п.м. подпадает в эталонную ширину частоты 10 МГц и равен -121 дБ(Вт/(м² · 10 МГц)), т.е. примерно на 56 дБ выше критерия, указанного для

непрерывных наблюдений. Применение п 1.153 Регламента радиосвязи дает значение п.п.м., равное $-123,5 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 10 \text{ МГц))}$. Это значит, что критерии защиты для непрерывных наблюдений не будут соблюдены.

Значение п.п.м. для системы РСС, работающей на частотах ниже 2 670 МГц и интегрированной по 20 кГц ниже полосы частот службы РАС, равно $-146 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 20 \text{ кГц))}$, что примерно на 15 дБ выше критериев защиты VLBI.

13.5 Методы уменьшения помех

13.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

Защитный интервал. Защитный интервал – это метод, при котором обеспечивается достаточное разделение по частоте между активными и пассивными службами. Как правило, границы между полосами частот активной и пассивной службы могут быть равномерно раздвинуты

Географическая изоляция. Географическая изоляция определенных астрономических обсерваторий может быть фактором, служащим для защиты наблюдений на данных обсерваториях на заданных орбитальных позициях определенных спутников РСС/ФСС, поскольку там будет относительно мало спутников.

13.5.2 ФСС/РСС

Данная служба подразумевает длительную передачу сигналов постоянно или в течение долгих периодов времени с постоянными мощностью и спектром. Возможной процедурой уменьшения помех может быть избегание нежелательных помех в направлении радиоастрономических обсерваторий, работающих в данной полосе частот, или использование фильтров, чтобы соответствующим образом снизить нежелательное излучение до уровня, где не наблюдается вредных помех радиоастрономическим наблюдениям в полосе частот 2690–2700 МГц.

13.5.3 Возможное воздействие

13.5.3.1 РАС

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Попытки уменьшить чувствительность радиоастрономической антенны к нежелательным излучениям, исходящим от космических станций, вероятно, повысят чувствительность радиоастрономического телескопа к земному излучению, и, возможно, уменьшат усиление его главного луча. Оба эти воздействия уменьшат пропускную способность канала телескопа и тем самым приведут к увеличению всего необходимого времени интеграции.

Гашение по времени и/или частоте. Гашение влечет за собой риск понижения достоверности данных и может привести к ошибкам в их научной интерпретации. Также гашение приводит к увеличению времени интеграции, необходимого для осуществления наблюдений, что соответствует потере пропускной способности канала телескопа.

Защитный интервал. В случае широкополосных непрерывных наблюдений использование защитного интервала может привести к эффективному снижению пропускной способности канала, так как потребуется увеличить время интегрирования для компенсации потери полосы.

Географическая изоляция. Учитывая обособленность расположения, вероятно, что упоминаемые радиоастрономические обсерватории будут испытывать небольшое воздействие. Однако это непременно обеспечивает защиту радиоастрономии как службы.

13.5.3.2 ФСС/РСС

Фильтры являются очевидным решением для подавления нежелательных излучений, но добавление таких фильтров может существенно изменить конструкцию спутника. Если используется активная антенна с фазированной решеткой, фильтры могут понадобиться для каждого активного вибратора антенны. Это увеличит вес спутника. Компенсация потерь в фильтрах потребует более мощных передатчиков, которые, в свою очередь, потребуют большую мощность питания, и таким образом больших солнечных батарей. Увеличение веса может потребовать большего ракетносителя. Увеличение стоимости может быть значительным. Следовательно, применение фильтров может рассматриваться только на этапе планирования системы. Однако непрерывное техническое совершенствование устройства фильтров и активных антенн со временем могут уменьшить трудности применения таких решений к управляемой части.

Так как в рассматриваемой полосе частот планируется использовать несколько многолучевых спутниковых систем, количество лучей в многолучевой системе или количество элементов увеличивает стоимость и вес дополнительных радиочастотных (РЧ) фильтров в системе с антенной с фазированной решеткой. Это происходит из-за того, что в многолучевых системах выходные усилители обычно не используются совместно всеми лучами и потому должны фильтроваться по отдельности. В системе с фазированной решеткой последняя стадия усиления происходит во многих элементах решетки, каждый из которых должен фильтроваться отдельно. Таким образом, вес каждого фильтра увеличивается на количество лучей системы или количество элементов в фазовой решетке. Вносимые потери фильтра могут отразиться на пропускной способности системы.

Географическая изоляция может использовать экспонирование диаграммы направленности спутниковой антенны для получения необходимой изоляции, чтобы соответствовать определенным критериям совместного использования на приемнике определенной радиоастрономической обсерватории. Данный метод автоматически подразумевает, что система ФСС не имеет глобальной, или хотя бы региональной зоны покрытия, что само по себе является ограничивающей посылкой. Многие системы имеют региональные или субрегиональные лучи, где географическая изоляция невыполнима. Другие системы точечных лучей могут использовать географическую изоляцию, тем не менее это не является идеальным решением с точки зрения спутниковой системы, поскольку может привести к тому, что некоторые области Земли будут недоступны для спутниковой службы. Такое ограничение области фиксированной спутниковой службы (ФСС) может иметь серьезные последствия для доходности службы. Однако данное решение не имеет значения при учете действующих требований по защите определенных радиоастрономических обсерваторий без необходимости обращения к критериям худшего случая на каждой радиоастрономической обсерватории.

13.6 Результат исследований

13.6.1 Резюме

Проведенное вычисление помех показывает, что на основе критериев защиты, обсуждаемых в п. 13.1.3, если не применяются никакие методы уменьшения помех, существует возможность вредных помех радиоастрономическим наблюдениям в полосе частот 2690–2700 МГц от служб в соседнем полосе частот на уровне, который эффективно исключит любые полезные радиоастрономические наблюдения, которые проводились в данной полосе частот.

Спутниковые операторы продолжают тесное сотрудничество с радиоастрономическим сообществом, чтобы уменьшить влияние спутниковых излучений ОоВ. Во многих случаях нормальной фильтрации спутникового ретранслятора будет недостаточно, чтобы быть уверенным, что не существует вредного влияния на радиоастрономические полосы частот. Если это не тот случай, воздействие дополнительной спутниковой фильтрации будет оцениваться вместе с другими методами уменьшения помех, например,

географическая изоляция диаграммы направленности и изоляция радиоастрономической земной станции. Можно завершить исходя из обособленности в зависимости от местоположения радиоастрономической станции и орбитальной позиции.

13.6.2 Заключение

Критерии защиты не соблюдаются ни для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной, ни для наблюдений VLBI.

14 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 10,6–10,7 ГГц и фиксированной спутниковой службы (ФСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 10,7–10,95 ГГц

14.1 РАС

14.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 10,6–10,7 ГГц на первичной основе распределена РАС, ССИЗ (пассивной) и СКИ (пассивной); подполоса частот 10,68–10,7 ГГц распределена только для этих служб по всему миру.

Следующие положения Регламента радиосвязи являются важными для данных полос частот: п. 5.149 для полосы частот 10,6–10,68 ГГц и п. 5.340 для полосы частот 10,68–10,7 ГГц.

14.1.2 Тип наблюдений

14.1.2.1 Наблюдения с одной антенной

Использование данной полосы частот для целей астрономии включает в себя наблюдение за нетермальными синхротронными источниками, которые могут быть обнаружены в данной полосе частот. Данные наблюдения предоставляют информацию на самых высоких частотах, где эти источники могут легко быть обнаружены, и это позволяет определить некоторые физические параметры данных источников. Полоса 10,6 ГГц также чрезвычайно важна для наблюдений за интенсивностью изменений радиогалактик, включая квазары. Данные объекты считаются наиболее удаленными небесными объектами, которые могут обнаружить астрономы, и обнаружено, что они периодически могут менять свою интенсивность от нескольких часов до нескольких лет и выделять неожиданно большие объемы энергии. Энергия излучается во время одного выброса из квазара и соответствует полному уничтожению нескольких сотен миллионов звезд в течение нескольких недель или месяцев. Фундаментальные процессы, которые могут производить такие события, все еще не до конца изучены, и наблюдения за размером и изменчивостью данных источников являются критическими при решении этих загадок. Такие наблюдения лучше всего производить в полосе частот от 10 до 15 ГГц.

В данных полосах частот изменчивость квазаров четко выражена, и их наблюдение облегчает открытие и наблюдение за такими событиями, природа которых все еще слабо понимаема астрономами. Наблюдения приводят к вычислению размеров данных источников, которые оказываются очень малы для производимых ими объемов энергии. Полоса частот 10,6 ГГц обеспечивает одно из лучших угловых разрешений (~2 угловые минуты) для многих больших субмиллиметровых радиотелескопов.

14.1.2.2 Наблюдения в режиме VLBI

Чрезвычайно малые размеры квазаров (сопоставимые с угловыми миллисекундами) известны благодаря наблюдениям VLBI. Эти наблюдения также были выполнены в полосе частот 10,6–10,7 ГГц, хотя в настоящее время полоса частот 8,4 является наиболее часто используемой полосой частот для наблюдений VLBI. Полоса частот 8–10 ГГц обеспечивает лучшее угловое разрешение, чем при наблюдениях, выполненных на более низких частотах, и позволяет ученым более точно определять размеры и структуры малого масштаба радиогалактик.

14.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769 указаны пороговые уровни вредных помех для первичных радиоастрономических полос частот. В полосе частот 10,6–10,7 ГГц Для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной, использующих всю ширину частоты 100 МГц, значение пределов порога п.п.м. равно -166 дБ(Вт/м²). Данная полоса частот используется только для непрерывных наблюдений, но не для наблюдений спектральной линии.

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот -145 дБ(Вт/м²) для всей полосы частот 50 .

Для вредных помех от негеостационарных систем критерии защиты и соответствующие методики описаны в Рекомендациях МСЭ-R RA.769 и МСЭ-R RA.1513, так же, как в Рекомендации МСЭ-R S.1586 для систем ФСС и в Рекомендации МСЭ-R M.1583 для систем ПСС и РНСС.

Пороги уровней вредных помех службе РАС, как определено и вычислено в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, выше которых радиоастрономические данные понижаются и могут быть в конечном счете совсем потеряны. В принципе, в идеальных условиях небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно уменьшается качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, например, качественные показатели антенны и т.д., на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для обеспечения получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

14.1.4 Эксплуатационные характеристики

Наблюдения в полосе частот 10,6–10,7 ГГц проводятся на нескольких радиоастрономических станциях по всему миру, данные наблюдения проводились с помощью радиотелескопов одной антенны и решетки.

Обычно наблюдения производятся по-разному. В случае непрерывных наблюдений может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

Расширенная зона радиоизлучения может быть отображена при помощи записи излучения сетки точек, покрывающих интересующую зону. Могут выполняться, как непрерывные наблюдения, так и наблюдения спектральной линии. В случае радиотелескопов с одной антенной каждое наблюдение с сеткой точек является отражением всей мощности (в случае континуума) или спектра излучения (в случае спектральной линии), исходящих из данной позиции в небе; промежуток между точками в сетке не должен превышать половины ширины диаграммы направленности антенны. Когда наблюдения производятся с помощью радиотелескопа с синтетической апертурой, там, где область, отображаемая на карте, выходит за границы мгновенной зоны нанесения на карты, точки сетки не должны отстоять друг от друга более чем на половину ширины диаграммы направленности одной из антенн радиотелескопа.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки, и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

14.2 ФСС

14.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Активной службе распределена полоса частот от 10,7 до 10,95 ГГц.

14.2.2 Применение

Полоса частот 10,7–10,95 ГГц распределена службе ФСС на первичной основе. Данное назначение обуславливается Приложением 30В РР, которое использует план присвоения и гарантирования пропускной способности все странам-участникам. Учитывая общее правило "первый пришел - первый обслужен" для непланируемых полос частот, создание Плана в Приложении 30В РР позволяет развивающимся странам сохранять доступ в будущем к дуге геостационарной орбиты. Любое наложение ограничений, например, защитного интервала или фильтрации, на службу ФСС отразится на выполнении Плана Приложения 30В РР.

14.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

Уровни нежелательных излучений в полосе частот 10,6–10,7 ГГц от службы ФСС основаны на регламентарных внутриполосных ограничениях. Перевод внутриполосной мощности в мощность ОоВ сделан с помощью уровней побочных излучений, приведенных в Приложении 3 РР, и уровней излучения ОоВ из Рекомендации МСЭ-R SM.1541. Уровень, равный -154 дБ(Вт/(м² · 4 кГц)), это уровень нежелательных излучений, которые будут приниматься в полосе частот 10,6–10,7 ГГц, определенный на основе регламентарных уровней. Был определен уровень -166 дБ(Вт/(м² · 4 кГц)), который основан на практическом опыте.

14.2.4 Характеристики передатчика

Работа геостационарных систем ФСС в данной полосе частот регулируется Приложением 30В РР. Работа негеостационарных систем ФСС в данной полосе частот, регулируется Приложением 22 РР.

14.2.5 Эксплуатационные характеристики

Для совместной работы с наземной фиксированной службой в Таблице 21–4 определено ограничение внутриполосной п.п.м. для службы ФСС со значением от -116 до -126 дБ(Вт/(м² · МГц)), которое отражает полоса частот от -176 до -186 дБ(Вт/(м² · Гц)) между 0° и 90° над горизонтальной плоскостью.

14.3 Порог совместимости

См. п. 14.1.3.

14.4 Оценка помех

14.4.1 Методика, использованная для оценки помех

На основе работ, проведенных с некоторыми радиоастрономическими станциями и некоторыми спутниковыми системами в данных полосах частот, радиоастрономическим сообществом и спутниковыми операторами была предоставлена информация о нежелательных излучениях, которые можно ожидать в полосе частот 10,6–10,7 ГГц.

14.4.2 Вычисление уровня помех

Все предпринятые вычисления основаны на информации, полученной в п. 14.4.3, как указывается в п. 14.4.1.

14.4.3 Полученные значения

14.4.3.1 Европейский пример геостационарных спутниковых систем

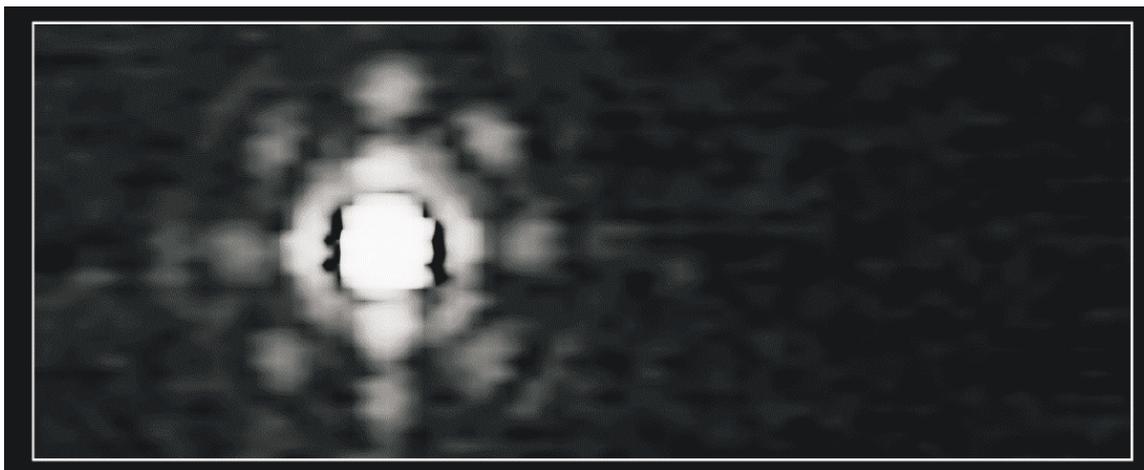
В Европе РАС в полосе частот 10,6–10,7 ГГц испытывает серьезные помехи от излучений ОоВ от одной системы ФСС. В частности, эта вредная помеха затрудняет наблюдения в данной полосе частот, делая их совершенно невозможными в радиообсерватории Effelsberg в Германии. Это было доведено до сведения Администрации Германии, которая подтвердила наблюдаемые помехи при помощи наблюдений на станции спутникового мониторинга Leeheim Администрации Германии, и при наличии данного доказательства до сведения оператора.

Например, один реальный случай помех работе службы РАС описан ниже, с отдельной геостационарной спутниковой системой службы ФСС, работающей на нижней номинальной центральной частоте 10,714 МГц с шириной частоты ретранслятора 26 МГц.

На Рисунке 53 показаны результаты измерений службы РАС на 10,6 ГГц радиотелескопом Effelsberg с диаметром антенны 100 м, в направлении 3С84, одного из сильнейших точечных источников космических радиоизлучений. Данное измерение было сделано до 1995 года. Размер поля равен 30 дюймов × 12 дюймов, поток от источника равен 20,5 Янский (~ -247 дБ(Вт/(м⁻² · Гц⁻¹))).

РИСУНОК 53

Карта галактического объекта "3С84" в полосе частот 10,6–10,7 ГГц, сделанная радиотелескопом Effelsberg с антенным диаметром 100 м*



* Источник 3С84 имеет угловой диаметр гораздо меньше ширины луча антенны, так что рисунок выше показывает профиль луча антенны, включая боковые лепестки. Так как карта была сделана для измерения яркости источника, а не его структуры, это не составляет проблемы

Отчет 2091-53

Затем в 1995 году геостационарный спутник службы ФСС был введен в эксплуатацию на определенной орбитальной позиции, где уже некоторое время работали другие спутники. Нижняя передающая центральная частота этого спутника была равна 10,714 ГГц, а частота ретранслятора 26 МГц. В результате колебания шума, производимые нежелательным излучением службы ФСС от этой орбитальной позиции в соседней полосе частот службы РАС 10,6–10,7 ГГц, были столь велики, что они полностью маскировали любые астрономические сигналы.

Поэтому на Рисунке 54 показана переработанная карта в том же поле неба 30 дюймов × 12 дюймов, что и на Рисунке 53, но после того, как в 1995 году был введен в эксплуатацию спутник, его орбитальная позиция была смещена на 10° от нанесенного на карту поля неба. Для сравнения рисунок 3С84 с Рисунок 53 был добавлен на карту на Рисунке 54. Однако данный очень мощный точечный источник теперь больше не виден на фоне потока, вызванного излучением спутника.

РИСУНОК 54

Карта участка неба, как на Рисунке 53, но с помехами, получаемыми радиотелескопом Effelsberg



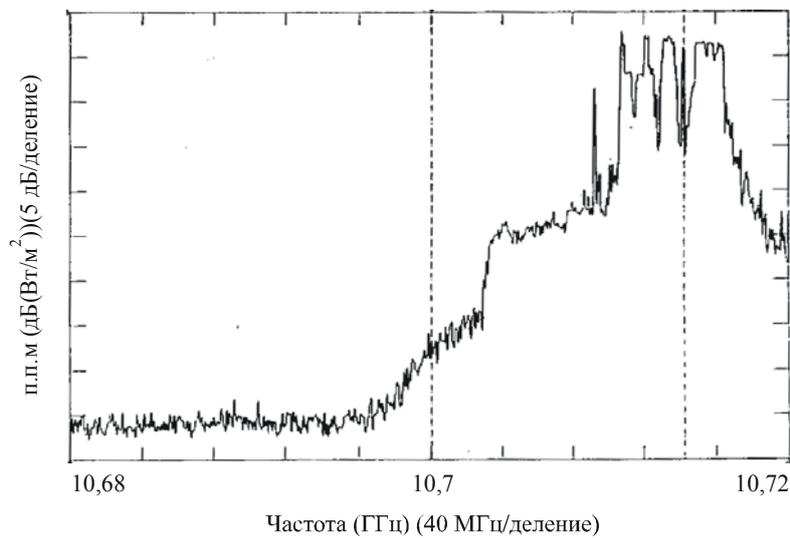
Отчет 2091-54

Для изучения данного случая помех, станция спутникового наблюдения Leeheim регуляторного органа Германии измеряла спектр передач службы ФСС от орбитальной позиции данного спутника (см. Рисунок 55), чтобы определить уровень нежелательных излучений в полосу частот службы РАС. Тем не менее, следует заметить, что чувствительности и динамического диапазона станции наблюдения не достаточно для контроля помех на уровнях, указанных как критерии защиты для службы РАС в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – На Рисунке 54 галактический объект больше не виден из-за полученных помех.

РИСУНОК 55

Измерение источника помех, проводимое на станции наблюдения Leeheim (1995 г.)



Отчет 2091-55

На Рисунке 55 можно увидеть, что на границе 10,7 ГГц полосы частот, распределенной РАС, в полосе частот, распределенной исключительно пассивным службам, измеряемый уровень нежелательных излучений равен -151 дБ(Вт/м²) в эталонной полосе шириной 100 кГц. Это соответствует значению -201 дБ(Вт/(м² · Гц)), поскольку Рекомендация МСЭ-R RA.769 указывает значение на 39 дБ ниже, т.е. -240 дБ(Вт/(м² · Гц)) в качестве порога помех, что касается применения более строгих ограничений в 15 дБ для геостационарных спутников желательного провести дополнительные исследования. Такая большая разница наблюдается на верхней границе полосы частот 10,6–10,7 ГГц, во всей остальной полосе частот она ниже.

Ниже границы 10,7 ГГц примерно до 10,69 ГГц, где уровень сигнала помех достигает минимального уровня шума станции наблюдения Leeheim (п.п.м. ~ -160 дБ(Вт/м²)), его спад равен примерно 10 дБ на 4 МГц. Если предполагается, что такая скорость спада сохраняется до 10,6 ГГц, то предполагаемая общая мощность, излучаемая от данной орбитальной позиции, попадающая в полосу частот 10,6–10,7 ГГц, будет равна $-145,6$ дБ(Вт/м²), что на 14,4 дБ выше значения порога, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.769 для полосы частот 10,6–10,7 ГГц (-160 дБ(Вт/м²)) и потому делает всю полосу 10,6–10,7 ГГц полностью непригодной для радиоастрономических наблюдений, как показано на Рисунке 54.

Хотя оператор спутниковой системы до некоторой степени улучшил систему, и на радиотелескопе Effelsberg установлены фильтры, до настоящего времени эффективного решения данной проблемы нет.

Были представлены следующие значения уровней нежелательных излучений от обычных систем ФСС, попадающие в полосу частот РАС. Два оператора определили, что к системам ФСС, в настоящее время работающих в полосе частот 10,7–10,95 ГГц, будет строго применяться только одно ограничение ниже уровней, указанных в Таблице 39.

ТАБЛИЦА 39

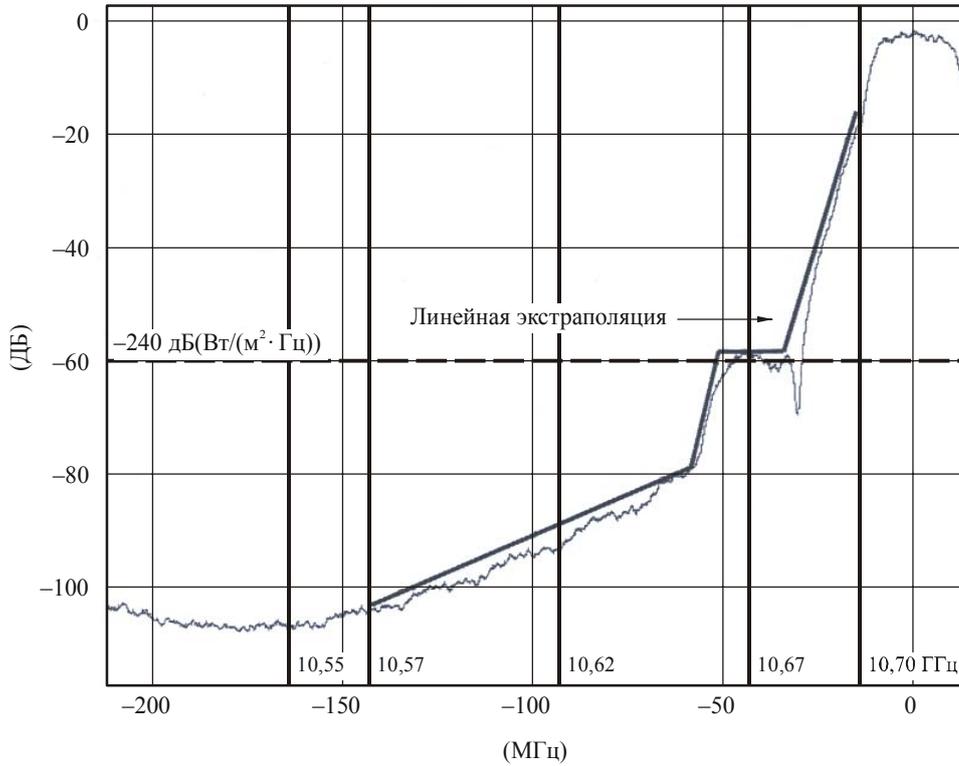
Уровни нежелательных излучений, попадающие в полосу частот 10,57–10,7 ГГц в определенных точках

| Граница (ГГц) | Уровень нежелательных излучений spfd (дБ(Вт/(м ² · Гц))) |
|---------------|---|
| 10,570 | -285 |
| 10,656 | -256 |
| 10,662 | -237 |
| 10,680 | -237 |
| 10,700 | -195 |

На Рисунке 56 показаны уровни spfd цифровой модуляции с частотой символов 22 Мсимвол/с, спадом 35% и шириной полосы ретранслятора 26 МГц, работающего на частоте 10 714 МГц. Для практических целей реальное увеличение мощности было экстраполировано линейным увеличением мощности, чтобы вычислить мощность, попадающую в весь радиоастрономический полосу частот 100 МГц в зависимости от сдвига частоты.

Из-за природы самой цифровой модуляции необходимая частота цифровой модуляции очень близка к частоте ретранслятора. Поэтому уровень spfd, попадающей в верхнюю часть полосы частот РАС, гораздо выше уровней spfd, наблюдаемых при аналоговой модуляции (см. Рисунок 57).

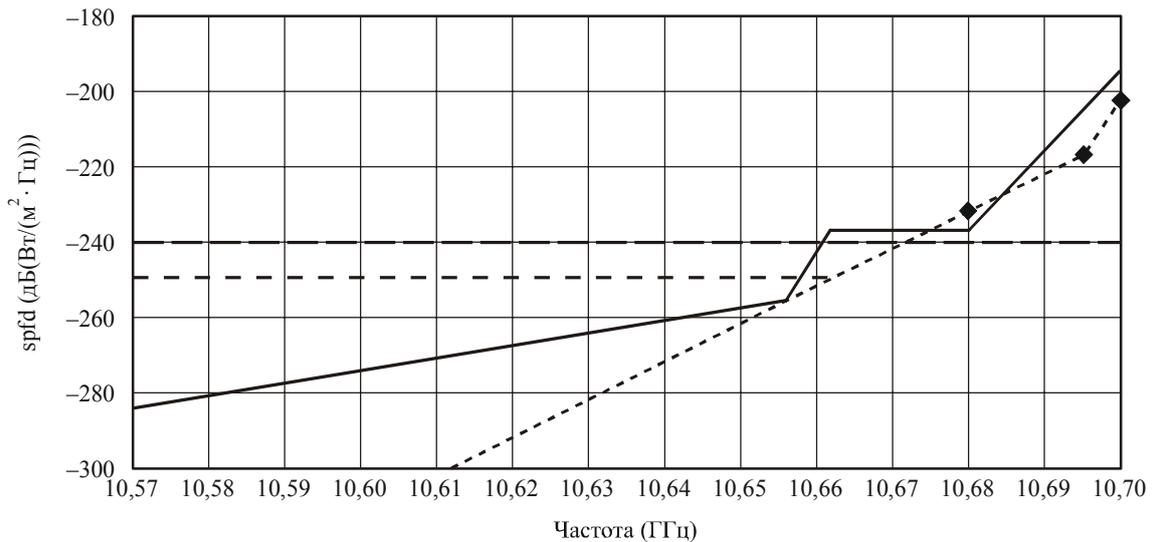
РИСУНОК 56
ОоВ маска излучения цифрового сигнала



Частота символов: 22 Мсимвол/с, 35% спад

Отчет 2091-56

РИСУНОК 57
Сравнение уровней spfd, в зависимости от типа модуляции



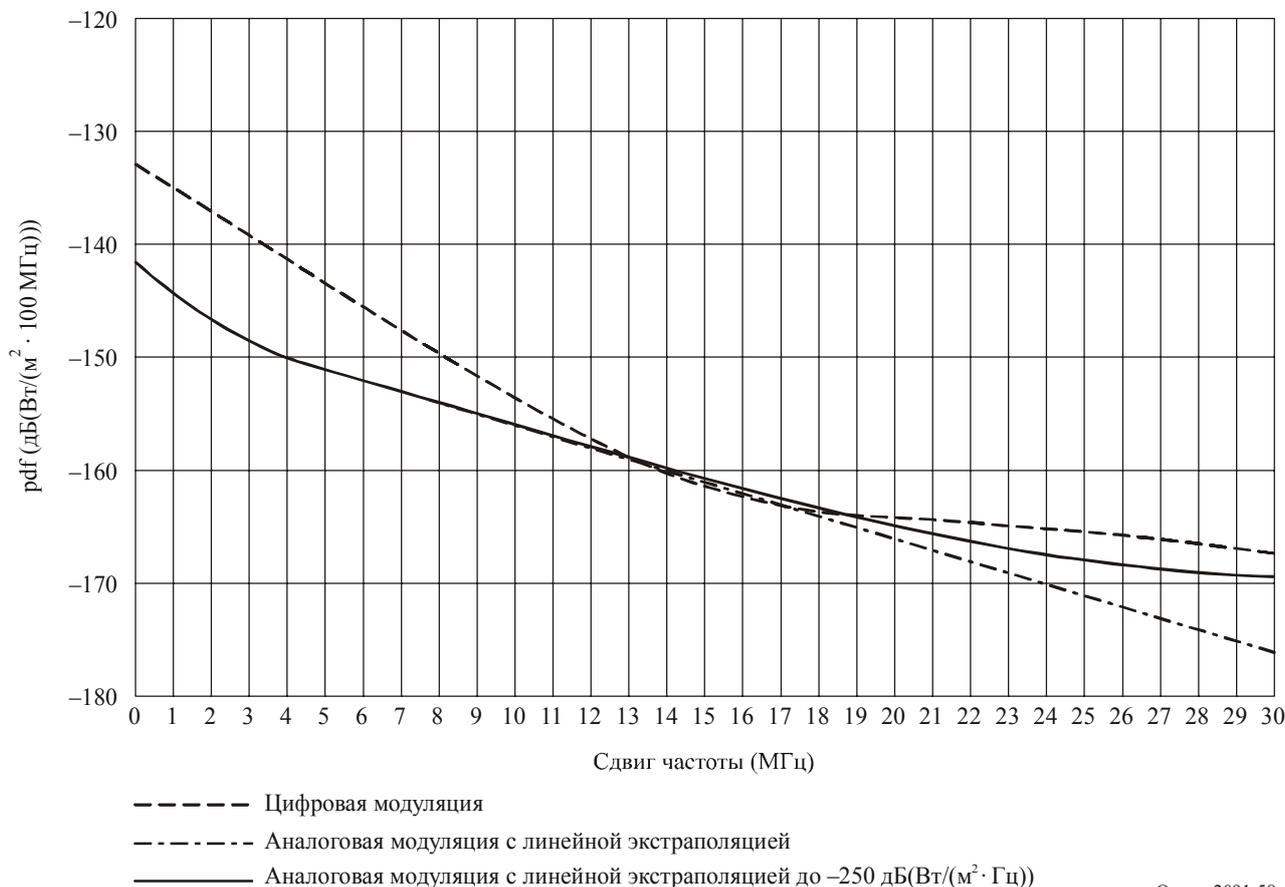
- Уменьшение цифровой мощности
- - - ◆ - - - Начальные аналоговые уровни ОоВ
- · - · - Уменьшение аналоговой мощности с линейной интерполяцией
- - - - Уменьшение аналоговой мощности с линейной интерполяцией до -250 дБ(Вт/(м²·Гц))

Отчет 2091-57

Из сведений, полученных из Рисунка 57, можно рассчитать мощность, попадающую в эталонную полосу шириной 100 МГц, в зависимости от частоты, с которой началось интегрирование (см. Рисунок 58).

РИСУНОК 58

Уровень п.п.м., интегрированный на ширине полосы 100 МГц в зависимости от типа модуляции



Отчет 2091-58

На Рисунке 58, сдвиг 0 МГц означает, что интеграция по полосе 100 МГц начинается с 10,7 ГГц (и заканчивается на 10,6 ГГц), точно так же, сдвиг 30 МГц означает, что интеграция по полосе 100 МГц начинается с 10,67 ГГц и, таким образом, заканчивается на 10,57 ГГц.

На Рисунке 58 при допущениях, которые были сделаны с учетом ослабления сигнала, пороговый уровень для непрерывных наблюдений, т.е. -160 дБ(Вт/(м² · 100 МГц)),

Поэтому чтобы достичь заключения по возможному разнесу частот, которое в данном примере сделает обе службы совместимыми, должны быть подтверждены допущения исходя из ослабления сигнала.

14.4.3.2 Пример Района 2 для геостационарных спутниковых систем

В ноябре 1993 года Национальная Радиоастрономическая Обсерватория США (NRAO) провела исследование геостационарной дуги от 152° з.д. до 7° з.д. в полосе частот 10,68–10,7 ГГц при помощи радиотелескопа с диаметром антенны 43 м, находящегося в Green Bank, Западная Вирджиния, (в настоящее время не используется) для определения уровней излучения, которые могут присутствовать, и определила, что на данном участке неба нет излучений, по меньшей мере, до уровня -250 дБ(Вт/(м² · Гц)).

Один случай в Районе 2 касается двух идентичных геостационарных спутников, работающих в полосе частот 10,75–10,95 ГГц, и использующих полосу частот 10,75–10,95 ГГц в соответствии с Приложением 30В РР для создания фидерных линий для применений ПСС. В другом случае оператор предоставляет данные об ожидаемых параметрах его космической станции в полосе частот 10,6–10,7 ГГц.

В случае двух идентичных геостационарных спутников, упомянутых выше, за счет оператора были установлены специальные дорогостоящие фильтры, обеспечивающие ослабление чуть выше 40 дБ в полосе частот 10,6–10,7 ГГц, чтобы удовлетворить национальные требования по защите пассивных служб. Спутники излучают помехи, попадающие в полосу частот 10,68–10,7 ГГц из двух независимых источников:

- излучаемый тепловой шум происходит в усилителе на лампе бегущей волны (ЛБВ). Измеренный уровень э.и.и.м. для худшего случая теплового шума лампы, т.е. на пике диаграммы направленности антенны в полосе частот 10,68–10,7 ГГц, составил 27 дБ(Вт/4 кГц), что в результате, после вычитания потерь на расхождение луча, равных $-163,2$ дБ(Вт/м²), дало уровень *spfd*, равный $-226,2$ дБ(Вт/(м² · Гц)), и
- продукты интермодуляции (ИМ) между сигналами создаются за счет нелинейностей в ЛБВ. Полоса частот передачи "космос-Земля" 10,75–10,95 подразделяется на 27 подполос частот, при этом каждая содержит разное количество радиосигналов. При условии максимальной нагрузки будут работать примерно 600 сигналов, и они будут распределены по подполосам частот. Чтобы вычислить уровень интермодуляции, попадающей в полосу частот радиоастрономической службы, было проведено моделирование наихудшего случая, при котором для симулирования наличия множества сигналов подполосы частот были наполнены Гауссовским шумом, а ЛБВ работала с максимальной нагрузкой. При моделировании использованы измеренные передаточные характеристики ЛБВ, и в результате получен пиковый уровень *spfd* продуктов интермодуляции (включая все ИМ системы) в полосе частот 10,69–10,70 ГГц равный $-223,0$ дБ(Вт/(м² · Гц)). Усредненный уровень *spfd* для наихудшего случая ИМ в этой полосе частот равен -231 дБ(Вт/(м² · Гц)). Значения в оставшейся части полосы частот РАС примерно на 5 дБ меньше (т.е. пиковое значение равно $-228,0$, а среднее $-236,0$ дБ(Вт/(м² · Гц)).

Продукты интермодуляции (ИМ) создаются сотнями независимых радиосигналов, которые модулируются случайными, независимыми потоками битов. Каждый модулятор применяет к информационному потоку 24-битовую максимальную псевдослучайную последовательность шума, гарантируя минимальную кросс-корреляцию между сигналами. Существуют тысячи отдельных независимых продуктов, распределенных по радиоастрономическим полосам частот. Сами сигналы включены только, когда передается речь, еще более увеличивая случайный характер композитного сигнала ИМ. Следовательно, продукты ИМ будут очень похожи на широкополосный Гауссовский шум.

При необходимости радиосигналы выделяются по требованию, в противном случае они выключены. В результате, эти условия наихудшего случая будут проявляться в рабочие часы в период наибольшей нагрузки, обычно охватывающий двенадцатичасовой период. Ночью, в выходные и праздничные дни максимальная нагрузка будет значительно меньше. Данное уменьшение нагрузки переводит работу ЛБВ в более линейную область, уменьшая уровень ИМ. Очень немногие радиосигналы также уменьшают количество продуктов ИМ. В течение данных, не пиковых периодов, уровень *spfd* ИМ уменьшается как минимум на 40 дБ, или примерно на -260 дБ(Вт/(м² · Гц)).

Вычисление общих помех. Объединенные ламповый шум и шум ИМ распределяются по Гауссу по широкой полосе передачи. Средний уровень *spfd* для наихудшего случая в полосе частот 10,6–10,69 ГГц равен $-225,6$ дБ(Вт/(м² · Гц)), увеличиваясь до $-221,3$ дБ(Вт/(м² · Гц)) на 10,7 ГГц. В течение периодов небольшой нагрузки средний уровень *spfd* по всей полосе частот равен $-226,2$ дБ(Вт/(м² · Гц)).

14.4.3.2.1 Компьютерное моделирование

Исследование на основе компьютерного моделирования показало, что использование любого выделения Приложения 30В РР станет причиной помех выше порогового уровня п.п.м., указанного в п. 14.1.3, для всех радиотелескопов в пределах зоны видимости этой космической станции. Исследование выявило, что самая большая мощность нежелательных излучений, попадающих в полосу частот 10,6–10,7 ГГц, наблюдается на границе данной полосы частот. Следует заметить, что при использовании для

определения уровня ОоВ Рекомендации МСЭ-R SM.1541, уровень нежелательных излучений завышается, так как отражается интеграция при маске для наихудшего случая. Необходимы дополнительные исследования на основе маски, отражающей обычную характеристику нежелательных излучений.

14.4.3.3 Негеостационарные системы

В настоящее время ни одна негеостационарная система не работает в полосе частот 10,7–10,95 ГГц, но в ближайшем будущем планируется начать использовать несколько систем. Для одной из этих систем (F-SATMULTI1 В) были произведены предварительные вычисления при помощи метода э.п.п.м. (см. Рекомендации МСЭ-R RA.1513 и МСЭ-R S.1586). Данные вычисления показывают, что использование допущений из Рекомендации МСЭ-R RA.769 и фильтрации между 30 дБ и 40 дБ, потребует защиты службы РАС в полосе частот 10,7 ГГц от побочных излучений данной системы на уровне -240 дБ(Вт/(м²·Гц)) в пределах ширины полосы 100 МГц. Это согласуется с первым примером геостационарных систем, описанных выше.

14.5 Методы уменьшения помех

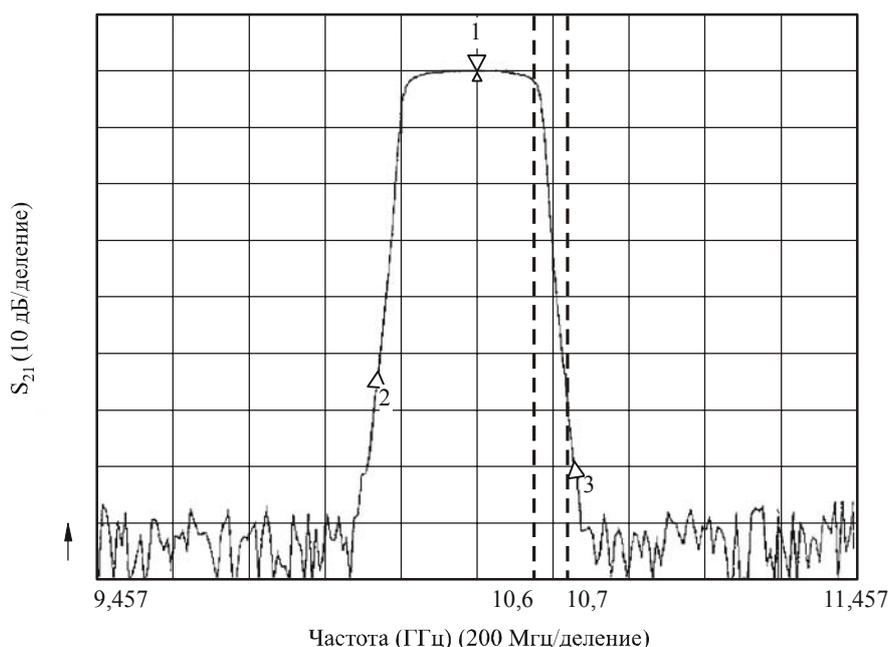
14.5.1 РАС

Для того чтобы продолжать наблюдения РАС в присутствии помех, как описано в п. 14.4.3.1, во входные каскады радиотелескопа был добавлен фильтр. Технические условия устройства фильтра были таковы, чтобы подавлять основную передачу от источника помех на 70 дБ, оставляя достаточную полосу пропускания с минимальными вносимыми потерями.

Усилители на основе полевых транзисторов могут возвращаться на несколько более низкую частоту без потерь или усиления коэффициента шума, и может быть найдено приемлемое устройство фильтра, доступного для приобретения. На Рисунке 59 показана функция передачи для фильтра, как предусматривается производителем фильтра.

РИСУНОК 59

Кривая ослабления полосового режекторного фильтра, внедренного на радиотелескопе, упомянутом в п. 4.3.1



Метка 3 на Рисунке 59 установлена на номинальную центральную частоту мешающей спутниковой передачи, которая равна 10,714 ГГц. Учитывая, что это распределение службы РАС, полоса частот 10,6–10,7 ГГц выделена пунктиром.

Следует заметить, что описанный выше фильтр был разработан для защиты приемника РАС и обеспечивает минимальные вносимые потери при разносе частот примерно 200 МГц от центральной частоты отклоняемого сигнала. С улучшением технологии фильтрации, могут быть получены лучшие данные, но доступный в настоящее время инструментарий требует частотного сдвига как минимум на 100 МГц.

Также следует заметить, что используемые наблюдения службы РАС могут выполняться на станции Effelsberg в полосе частот примерно 10,5 ГГц, которая распределена наземной фиксированной службе, и где помехи наблюдаются лишь от случая к случаю. Это может быть неприменимо в других странах из-за их постоянного использования фиксированной службы в данной полосе частот.

14.5.2 Активная служба

Для уменьшения воздействия на пассивную службу могут применяться несколько методов уменьшения помех. Они приведены в Рекомендации МСЭ-R SM.1542. Ниже указаны конкретные случаи, которые применялись для защиты пассивных служб, работающих в полосе частот 10,6–10,7 ГГц:

- Одна из администраций обнаружила, что, несмотря на то, что ограничения помех из Рекомендации МСЭ-R RA.769 обеспечивают защиту РАС от помех, более гибкое решение может быть получено, если от поставщиков услуг негеостационарной ФСС требуется скоординировать и достичь взаимоприемлемого соглашения с операторами РАС, использующими полосу частот 10,6–10,7 ГГц, которое гарантирует данным операторам надежную защиту от помех. Для выполнения этого к соответствующей Национальной таблице распределения радиочастот было добавлено специальное примечание. Текст данного примечания гласит:

"В полосе частот 10,7–11,7 ГГц лицензированные операторы негеостационарных спутниковых систем фиксированной спутниковой службы (космос-Земля) до начала работы должны скоординировать частотные присвоения со следующими радиоастрономическими обсерваториями для достижения взаимовыгодного соглашения касательно защиты оборудования радиотелескопа, работающего в полосе частот 10,6–10,7 ГГц".

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В данном месте примечания следует Таблица радиоастрономических станций.

- В одном из вкладов предполагается, что должна рассматриваться возможность установления защитного интервала между полосами частот фиксированной спутниковой службы (ФСС) и РАС (см. рассмотрение данного вопроса в п. 14.4.3.1). В результате исследования по полосам частот, можно сказать, что единственной возможностью является установление защитного интервала между ФСС и РАС. Однако пропорциональное распределение величины защитного интервала между службами требует рассмотрения.

Следует принять во внимание, что любой защитный интервал, предписанный для ФСС, отразится на Плате из Приложения 30В РР. Точно так же любой защитный интервал, предписанный для РАС, приведет к увеличению времени измерения, тем самым снизив коэффициент использования станций службы РАС.

Точно так же, если расширение полосы частот, распределенной РАС, ниже 10,6 ГГц предполагает разрешение службе РАС работать в полосы шириной 100 МГц, это может отразиться на службах, работающих ниже 10,6 ГГц.

14.5.3 Возможное воздействие

14.5.3.1 РАС

Со стороны радиоастрономической службы технически невозможно отфильтровывать помехи, упомянутые в п. 14.4.3.1. Даже хорошо рассчитанная система службы РСС/ФСС будет принуждать радиоастрономические обсерватории использовать фильтры во входных каскадах приемника. Входные каскады приемника, используемые сегодня на радиообсерваториях, обычно содержат охлажденные усилители транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT), которые по своей природе широкополосные. За пределами расчетной полосы частот полоса пропускания усилителя первой ступени медленно уменьшается. Спутниковые передатчики, особенно те, которые достаточно близко подошли к

направлению измерения, могут вызвать нелинейность принимающей системы, и, следовательно, может потребоваться фильтрация до этапа первого усиления входного каскада приемника. При проектировании радиоастрономических приемников всегда стараются избежать потерь при передаче, которые повышают шумовую температуру приемника. Данные потери могут иметь место, когда учитывается недостаточный защитный интервал для защиты радиоастрономических наблюдений, также из-за того, что технология фильтрации недостаточно разработана для всех рассматриваемых частот.

14.5.3.2 ФСС

Фильтры могут использоваться для подавления нежелательных излучений, но добавление фильтров может серьезно отразиться на устройстве спутника:

- Вносимые потери, появляющиеся из-за фильтра, могут привести к потере пропускной способности. Для компенсации потерь требуется увеличение размера НРА с соответствующим воздействием на устройство космической станции (стоимость, вес, мощность, надежность).
- Добавление фильтра увеличивает фазовую характеристику внутриполосного сигнала. Если превышены уровни допуска на отклонение фазы приемника, будут затронуты качественные показатели линии, даже если в приемнике хватает мощности.
- Добавление фильтра увеличивает сложность устройства космической станции и тестовой программы.

К тому же, если используется активная антенна с фазовой решеткой, для каждого элемента антенны могут потребоваться фильтры.

Для многолучевых спутниковых систем, планируемых к эксплуатации в рассматриваемой полосе частот, количество лучей или количество элементов фазированной решетки увеличивает стоимость и вес дополнительных РЧ фильтров в многолучевой системе. Это происходит из-за того, что в многолучевых системах выходные усилители обычно не используются совместно всеми лучами и потому должны фильтроваться по отдельности. В системе с фазированной решеткой последняя стадия усиления происходит во многих элементах решетки, каждый из которых должен фильтроваться отдельно. Таким образом, вес каждого фильтра увеличивается на количество лучей системы или количество элементов в фазовой решетке. Вносимые потери фильтра могут отразиться на пропускной способности системы.

Географическая изоляция может использовать экспонирование диаграммы направленности спутниковой антенны для получения необходимой изоляции, чтобы соответствовать определенным критериям совместного использования на приемнике определенной радиоастрономической обсерватории. Данный метод автоматически подразумевает, что система ФСС не имеет глобального, или хотя бы регионального покрытия, что само по себе является ограничивающим предположением. Многие системы имеют региональные или субрегиональные лучи, где географическая изоляция не выполнима. Другие системы с точечными лучами могут использовать географическую изоляцию; тем не менее, для спутниковой системы это не является идеальным решением, поскольку может привести к тому, что некоторые области Земли будут недоступны для спутниковой службы. Такое ограничение области фиксированной спутниковой службы (ФСС) может иметь серьезные последствия для доходности службы. Однако данное решение не имеет значения при учете действующих требований по защите определенных радиоастрономических обсерваторий без необходимости обращения к критериям наихудшего случая на каждой радиоастрономической обсерватории.

14.6 Результаты исследований

14.6.1 Резюме

В Районе 2 используемые в настоящее время методы проектирования и методы уменьшения помех защищают радиоастрономическую службу в полосе частот 10,6–10,7 ГГц от ограниченного количества космических станций ФСС, которые развернуты в настоящее время. В случаях, когда использование Плана Приложения 30В РР может мешать радиоастрономическим наблюдениям, местное давление, оказываемое в другой стране гарантирует, что ситуация будет исправлена. Однако в будущем

разворачивание космических станций, которые не предусматривают специальной защиты радиотелескопов, может негативно отразиться на их работе.

В некоторых странах Района 1 соприкосновение полос частот, распределенных РАС и ФСС или РСС для передачи сигналов в направлении космос-Земля породило сложную ситуацию с помехами, которая может быть разрешена только введением защитного интервала между двумя службами. В данной полосе частот критерии защиты, указанные в п. 14.1.3, соблюдаются активной службой для случая VLBI, но не для непрерывных наблюдений с одной антенной. В Районе 2 использовались методы уменьшения помех, чтобы соответствовать уровням непрерывных наблюдений с одной антенной. Однако в Районе 1 в настоящее время нередки случаи вредных помех.

В Районе 3 не было получено никаких данных, и не предпринималось никаких исследований.

14.6.2 Заключение

В Районе 1 критерии защиты соблюдены в случае VLBI, но не для непрерывных наблюдений с одной антенной или наблюдений спектральной линии. В Районе 2 критерии защиты соблюдены для VLBI.

15 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 22,21–22,5 ГГц и радиовещательной спутниковой службы (РСС) (космос-Земля), работающей в полосе частот 21,4–22 ГГц

15.1 РАС

15.1.1 Распределенная полоса частот

Полоса частот 22,21–22,5 ГГц распределена на первичной основе службе РАС.

П. 5.149 Регламента радиосвязи призывает администрации принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех.

15.1.2 Тип наблюдений

Эта полоса частот используется службой РАС как для непрерывных наблюдений, так и для наблюдений за спектроскопической линией молекулы воды, чья спектроскопическая полоса частот в данной полосе частот является одной из самых важных для радиоастрономии (см. Рекомендацию МСЭ-R RA.314, Таблицу 40 и Список Важных Спектральных Линий Международного Астрономического Союза).

Модуляции молекулы воды в данной полосе частот наблюдаются при помощи методов одной антенны и VLBI.

15.1.3 Необходимые критерии защиты

Пороговые уровни вредных помех радиоастрономической службе приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769, и указаны пороговые уровни вредных помех для полос частот, распределенных радиоастрономической службе на первичной основе.

Для полосы частот 22,21–22,5 ГГц предел порога п.п.м., указанный в Рекомендации МСЭ-R RA.769 для наблюдений с одной антенной выполняемых при помощи ширины пропускания канала (одного из каналов спектрометра) 250 кГц, равен -162 дБ(Вт/м²). Предел порога п.п.м., равный -146 дБ(Вт/м²), и выполнен при помощи всей ширины полосы 290 МГц.

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот, -128 дБ(Вт/м²) 250 .

Для вредных помех от негеостационарных систем в Рекомендациях МСЭ-R RA.769 и МСЭ-R RA.1513 описаны критерии защиты и соответствующие методики, так же как в Рекомендации МСЭ-R S.1586 для систем ФСС и в Рекомендации МСЭ-R M.1583 для систем ПСС и РНСС.

Пороги уровней вредных помех службе РАС, определенные и вычисленные в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, ниже которых понижаются радиоастрономические данные и могут быть, в конечном счете, совсем потеряны. В принципе, в идеальных условиях, небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно уменьшается качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, (например, качественные показатели антенны и т.д.) на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для обеспечения получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

15.1.4 Эксплуатационные характеристики

Наблюдения в полосе частот 22,21–22,5 ГГц 1612 МГц выполняются в некоторых астрономических обсерваториях в некоторых странах мира. Это могут быть наблюдения за излучением континуума, спектральной линии, или эксперименты VLBI. Наблюдения в данной полосе частот иногда ведутся за случайными целями, например, кометами, которые создают кратковременные излучения на этой спектральной линии. Также часто в этой полосе частот производятся наблюдения в режиме VLBI.

Наблюдения спектральных линий выполняются с помощью многоканальных спектрометров, которые могут одновременно интегрировать мощность во многих (обычно от 256 до 4096) частотных каналах, распределенных по полосе частот. Количество каналов и их индивидуальная ширина полосы выбираются так, чтобы в должной степени отражать спектр сетевого излучения от источников в луче антенны.

Как правило, наблюдения производятся по-разному. В случае наблюдений непрерывных излучений может быть отображена область неба, окружающего космический источник радиоизлучений, и вычтено фоновое излучение, либо могут проводиться измерения мощности, принимаемой со стороны источника (на источнике) и мощности, принимаемой от одной или нескольких близлежащих точек на небе (вне источника). Путем вычитания значений "вне источника" из значений "на источнике", излучение, создаваемое на выходе приемника данным источником, отделяется от других составляющих.

В случае наблюдений спектральной линии, спектры записываются в полосах частот, включая рассматриваемые линейные излучения (линейные спектры), а затем на частоте, которая сдвинута относительно линейчатых излучений, или на той же частоте, но на близлежащей позиции в небе (эталонные спектры). Вычитая эталонные спектры из линейных, можно удалить из данных нежелательные шумовые и другие загрязняющие примеси.

Расширенная зона радиоизлучения может быть отображена при помощи записи излучения сетки точек, покрывающих интересующую зону. Могут выполняться, как непрерывные наблюдения, так и наблюдения спектральной линии. В случае радиотелескопов с одной антенной каждое наблюдение с сеткой точек является отражением всей мощности (в случае континуума) или спектра излучения (в случае спектральной линии), исходящих из данной позиции в небе; промежуток между точками в сетке не должен превышать половины ширины диаграммы направленности антенны. Когда наблюдения производятся с помощью радиотелескопа с синтетической апертурой, там, где область, отображаемая на карте, выходит за границы мгновенной зоны нанесения на карты, точки сетки не должны отстоять друг от друга более чем на половину ширины диаграммы направленности одной из антенн радиотелескопа.

Наблюдения в режиме VLBI выполняются с помощью преобразования сигналов вниз по частоте, преобразования в цифровую форму без очистки, и записи на пленку или носитель другого типа вместе с сигналами точного времени. Затем данные передаются в центр обработки данных VLBI, где сигналы синхронизируются и коррелируются. Следовательно, полное воздействие помех не может быть известно до тех пор, пока не завершится период наблюдений, и не будут обработаны данные.

15.2 РСС

15.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Полоса частот выделенной активной службы составляет от 21,4 до 22 ГГц.

15.2.2 Служба

На конференции ВАКР-92 полоса частот 21,4–22,0 ГГц в Районах 1 и 3 была перераспределена для РСС службы передачи сигналов цифрового телевидения высокой четкости (ТВВЧ), которая будет введена в эксплуатацию после 1 апреля 2007 г. Данная полоса частот была определена для разработки будущего плана распределения.

15.2.3 Уровни на основе регламентарных положений

Приложение к Резолюции 525 (Пересм. ВКР-03), Раздел III–Промежуточная процедура, относящаяся к работающим системам службы РСС (ТВВЧ), введенным в эксплуатацию до 1 апреля 2007 года.

Для того чтобы до 1 апреля 2007 года в Районах 1 и 3 ввести в эксплуатацию системы РСС (ТВВЧ), работающие в полосе частот 21,4–22,0 ГГц, должна применяться процедура, содержащаяся в Резолюции 3 (Пересм. ВКР-03), если уровень п.п.м. на земной поверхности, получаемый из излучений от космической станции на территории другой страны превышает:

- -115 дБ(Вт/м²) в любой полосе частот шириной 1 МГц для углов наклона траектории между 0° и 5° над горизонтальной плоскостью; или
- -105 дБ(Вт/м²) в любой полосе частот шириной 1 МГц для углов наклона траектории между 25° и 90° над горизонтальной плоскостью; или
- значения, которые должны быть определены линейной интерполяцией между данными ограничениями углов наклона траектории между 5° и 25° над горизонтальной плоскостью.

Дополнение к Резолюции 525 (Пересм. ВКР-03), Раздел IV–Временная процедура, относящаяся к системам РСС (ТВВЧ), вводимым после 1 апреля 2007 г.

Для целей введения и эксплуатации систем РСС (ТВВЧ) в полосе 21,4–22,0 ГГц в Районах 1 и 3 после 1 апреля 2007 г. и до того, как будущая конференция примет решение относительно окончательных процедур, должны применяться все соответствующие положения Статей 9–14, за исключением п. 9.11.

15.2.4 Характеристики передатчика

Были использованы следующие характеристики:

- усиление антенны системы РСС одинаково в полосе частотах службы РСС и службы РАС;
- максимальные уровни $spfd$ /п.п.м. используются для нежелательных излучений от систем РСС в полосе частот службы РАС;
- увеличение спектра цифрового модулированного сигнала из-за нелинейности ретранслятора;
- шум лампы бегущей волны (ЛБВ), попадающий в полосу частот службы РАС; и
- улучшенные характеристики фильтров ОМУХ (оптического мультиплексора).

15.2.5 Эксплуатационные характеристики

Данный Раздел 15 относится только к геостационарным системам. Негеостационарные системы будут рассматриваться дальше.

15.2.6 Внутриполосный уровень передачи

См. п. 15.2.3.

15.3 Порог совместимости

См. п. 15.1.3.

15.4 Оценка помех

15.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

См. п. 15.2.4.

15.4.2 Вычисление уровня помех

В Таблице 40 приведены максимальные уровни нежелательных излучений от рассматриваемых систем службы РСС, работающих в полосе частот 21,4–22 ГГц и попадающих в полосу частот радиоастрономической службы, 22,21–22,5 ГГц.

ТАБЛИЦА 40

Максимальные уровни нежелательных излучений от систем службы РСС

| Полоса частот (ГГц) | Максимальный уровень нежелательного узкополосного излучения $spfd$ (дБ(Вт/(м ² · Гц))) | Максимальный уровень нежелательного широкополосного излучения п.п.м. (дБ(Вт/(м ² · 290 МГц))) |
|---------------------|---|--|
| 22,21–22,5 | -221 | -146 |

15.4.3 Полученные значения

Сравнение между пороговыми уровнями п.п.м. для защиты службы РАС в полосе частот 22,21–22,5 ГГц, как они указаны в Рекомендации МСЭ-R RA.769 (см. п. 15.1.3), и уровней нежелательных излучений, создаваемых системами радиовещательной спутниковой службы (РСС), указанных в Таблице 40, дают результаты, приведенные в Таблице 41.

ТАБЛИЦА 41

Различие между пороговыми уровнями п.п.м. из Рекомендации МСЭ-R RA.769 и уровнями нежелательных излучений службы РСС

| Тип наблюдения | Непрерывные наблюдения | Наблюдения спектральной линии | Наблюдения в режиме VLBI |
|---|------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Различие между пороговыми уровнями п.п.м. из Рекомендации МСЭ-R RA.769 и уровнями нежелательных излучений службы РСС (дБ) | 0 | +5 | +37 |

Из данного вычисления следует, что для непрерывных наблюдений с одной параболической антенной, наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны и наблюдений VLBI пороговые уровни Рекомендации МСЭ-R RA.769 соблюдены.

15.5 Методы уменьшения помех

15.5.1 РАС

Существуют различные методы, включая описанные ниже, которые, как можно предположить, уменьшат нежелательные излучения от спутниковых передатчиков на радиотелескопе.

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Освещенность апертуры радиотелескопов обычно оптимизирована по значению G/T, т.е. по усилению телескопа, поделенному на системную температуру. Это сделано для того, чтобы максимизировать отношение S/N для точечного источника. Ключевым элементом является уменьшение земных излучений, попадающих в приемник через дальние

боковые лепестки. Это неизбежно ведет к некоторому соответствующему усилению уровней ближних боковых лепестков. Практика показала, что большинство радиотелескопов для большинства направлений соответствует маске огибающей боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509.

Гашение по времени и/или частоте. Этот метод может применяться в некоторых случаях, когда можно полностью и однозначно определить время и/или частоту помех в полосе частот радиоастрономической службы.

15.5.2 РСС

Фильтры. Это затрагивает внедрение дополнительных РЧ фильтров в активную службу.

15.5.3 Возможное воздействие

15.5.3.1 РАС

Качественные показатели боковых лепестков антенны. Попытки уменьшить чувствительность радиоастрономической антенны к нежелательным излучениям, исходящим от космических станций, вероятно, повысят чувствительность радиоастрономического телескопа к земному излучению, и, возможно, уменьшат усиление его главного луча. Оба эти воздействия уменьшат пропускную способность канала телескопа и тем самым приведут к увеличению всего необходимого времени интеграции.

Гашение по времени и/или частоте. Гашение влечет за собой риск понижения достоверности данных и может привести к ошибкам в их научной интерпретации. Также гашение приводит к увеличению времени интеграции, необходимого для осуществления наблюдений, что соответствует потере пропускной способности канала телескопа.

15.5.3.2 РСС

Для многолучевых систем, планируемых для работы в рассматриваемой полосе частот, количество лучей в многолучевой системе или количество элементов увеличивает стоимость и вес дополнительных РЧ фильтров в системе с антенной с фазированной решеткой. Это происходит из-за того, что в многолучевых системах выходные усилители обычно не используются совместно всеми лучами и потому должны фильтроваться по отдельности. В системе с фазированной решеткой последняя стадия усиления происходит во многих элементах решетки, каждый из которых должен фильтроваться отдельно. Таким образом, вес каждого фильтра увеличивается на количество лучей системы или количество элементов в фазовой решетке. Вносимые потери фильтра могут отразиться на пропускной способности системы.

15.6 Результаты исследований

Вычисления показывают, что критерии защиты, обсуждаемые в п. 15.1.3, соблюдаются во всех режимах наблюдения (VLBI, субмиллиметровые за континуумом и спектральной линией).

16 Анализ совместимости систем РАС, работающих в полосе частот 42,5–43,5 ГГц и радиовещательной спутниковой (РСС) и фиксированной спутниковой (ФСС) служб (космос-Земля), работающих в полосе частот 41,5–42,5 ГГц

16.1 РАС

16.1.1 Распределенная полоса частот

Служба РАС использует полосу частот 42,5–43,5 ГГц совместно с фиксированной службой, ФСС (Земля-космос) и подвижной (кроме воздушной подвижной) службой на первичной основе.

16.1.2 Тип наблюдений

Полоса частот 42,5–43,5 ГГц используется службой РАС, как для непрерывных наблюдений, так и для наблюдений спектральной линии. Эта полоса частот очень важна для радиоастрономии, так как является примерно вдвое выше полосы частот 23,6–24 ГГц непрерывных наблюдений и является эффективной частотой для выбора отсчетов непрерывных сигналов излучений с октавными интервалами, нужных для определения спектрального индекса источников радиоизлучений. Наблюдения непрерывных излучений дают важнейшую информацию о физическом состоянии межзвездной среды, относящейся к областям формирования звезд. Полоса частот 43 ГГц также активно используется для изучений микроволнового фона космического излучения (СМВ). Также полоса частот включает в себя спектральные линии, связанные с молекулой однооксида кремния (SiO) на оставшихся частотах 42,519; 42,821; 43,122 и 43,424 ГГц, которые относятся к наиболее важным астрофизическим линиям, но которые не указаны в Рекомендации -R RA.314.

Это линии, важные для изучения космических явлений таких, как рождение и смерть звезд.

16.1.3 Необходимые критерии защиты

В Рекомендации МСЭ-R RA.769 определяются критерии защиты для радиоастрономических наблюдений, и даются пороговые уровни вредных помех для основных радиоастрономических полос частот. В полосе частот 42,5–43,5 ГГц для наблюдений с одной антенной, выполняемых в канале (одном из каналов спектрометра) с шириной полосы пропускания 500 кГц, порог п.п.м. для вредных помех равен -153 дБ(Вт/м²). Для выполнения непрерывных наблюдений с одной антенной, используя всю ширину полосы 1 ГГц, ограничение порога п.п.м. равно -137 дБ(Вт/м²).

Наблюдения в режиме VLBI, где после наблюдений записывается и коррелируется сигнал от широко распределенных антенн, гораздо менее восприимчивы к помехам. Это отражается в пороговом уровне п.п.м. для наблюдений VLBI в данной полосе частот -116 дБ(Вт/м²) 500 .

Для вредных помех от негеостационарных систем критерии защиты и соответствующие методики описаны в Рекомендациях МСЭ-R RA.769 и МСЭ-R RA.1513, а так же в Рекомендации МСЭ-R S.1586 для систем ФСС. Пороги уровней вредных помех службе РАС, как определено и вычислено в Рекомендации МСЭ-R RA.769, являются критериями защиты, выше которых радиоастрономические данные понижаются и могут быть, в конечном счете, совсем потеряны. В принципе, в идеальных условиях, небольшое превышение этих критериев можно компенсировать на радиоастрономической обсерватории, увеличив время наблюдений. Если это сделать, пропускная способность канала уменьшается, и соответственно уменьшаются качественные показатели научных исследований. Если уровень помех при предположениях, сделанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769, (например, качественные показатели антенны и т.д.) на 10 дБ или больше превышает уровень, указанный в данной Рекомендации, то увеличение времени наблюдения более не будет эффективным для обеспечения получения достоверных научных данных. При этом радиоастрономическая станция не будет способна работать в рассматриваемой полосе частот, и если не будут применены подходящие методы уменьшения помех, то радиоастрономическая станция не сможет предоставлять услуги.

Следующие Рекомендации МСЭ-R непосредственно касаются радиоастрономических станций,, выполняющих наблюдения в полосе частот 42,5–43,5 ГГц, или могут иметь к ним отношение.

- | | |
|-----------------------------|---|
| Рекомендация МСЭ-R RA.314 – | Предпочтительные полосы частот для радиоастрономических измерений. |
| Рекомендация МСЭ-R RA.517 – | Защита радиоастрономической службы от передатчиков, работающих в соседних полосах частот. |
| Рекомендация МСЭ-R RA.611 – | Защита радиоастрономической службы от побочных излучений. |
| Рекомендация МСЭ-R RA.769 – | Критерии защиты, использованные для радиоастрономических измерений. |

- Рекомендация МСЭ-R RA.1237 – Защита радиоастрономической службы от нежелательных излучений, являющихся результатом применения широкополосной цифровой модуляции.
- Рекомендация МСЭ-R RA.1513 – Уровни потери данных в радиоастрономических наблюдениях и критерии процента времени, являющихся результатом ухудшения из-за помех в полосах частот, распределенных радиоастрономии на первичной основе.
- Рекомендация МСЭ-R S.1586 – Расчет уровней нежелательного излучения, производимого негеостационарной системой фиксированной спутниковой службы в местах расположения радиоастрономических станций.

В данной полосе частот применяются пп. РР 5.149, 5.547, 5.551АА 5.551G.

16.1.4 Эксплуатационные характеристики

Радиоастрономические наблюдения в полосе частот 42,5–43,5 ГГц выполняются во всех Районах МСЭ. В Таблице 42 приведен список радиоастрономических обсерваторий, которые работают или готовятся к вводу в полосе частот 42,5–43,5 ГГц. К готовящимся к вводу относятся строящиеся станции в Мексике (Большой Миллиметровый Телескоп, совместный проект США-Мексика), Чили (Большой Миллиметровый Массив в Атакаме) и Италии (Сардинский Телескоп) или применение данной полосы частот на решетке интерферометра UK MERLIN.

ТАБЛИЦА 42
Радиоастрономические станции, работающие в полосе частот 42,5–43,5 ГГц

| Район 1 | | | | | | |
|--|--------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Страна | Станция | Долгота | Широта | Высота (м) | Диаметр (м) | Примечание |
| Финляндия | Metsähovi | 24° 23' 17" | 60° 13' 04" | 61 | 13,7 | S |
| Франция | Bordeaux Plateau de Bure | -00° 31' 37" | 44° 50' 10" | 73 | 2,5 | S |
| | | 5° 54' 26" | 44° 38' 01" | 2552 | 6 × 15 | S |
| Германия | Effelsberg | 06° 53' 00" | 50° 31' 32" | 369 | 100 | S |
| Италия | Medicina Noto Cagliari | 11° 38' 43" | 44° 31' 14" | 44 85570 | 32 | S |
| | | 15° 03' 00" | 36° 31' 48" | | 32 | S |
| | | 09° 14' 40" | 39° 29' 50" | | 64 | S |
| Российская Федерация | Дмитров | 37° 27' 00" | 56° 26' 00" | 200 | 32 | S |
| Испания | Pico Veleta Yebes | -03° 23' 34" | 37° 03' 58" | 2870 | 30 | S |
| | | -03° 06' 00" | 40° 31' 30" | 931 | 40 | S |
| Швеция | Onsala | 11° 55' 35" | 57° 23' 45" | 10 | 20 | S |
| Объединенное Королевство (планируется) | Cambridge | 00° 02' 20" | 52° 09' 59" | 24 | 32 | S |
| | Darnhall | -02° 32' 03" | 53° 09' 21" | 47 | 47 | S |
| | Jodrell Bank | -02° 18' 26" | 53° 14' 10" | 78 | 76 | S |
| | Knockin | -02° 59' 45" | 52° 47' 24" | 66 | 25 | S |
| | Pickmere | -02° 26' 38" | 53° 17' 18" | 35 | 25 | S |

ТАБЛИЦА 42 (окончание)

| Район 2 | | | | | | |
|--------------------|----------------------|---------------|--------------|------------|-------------|------------|
| Страна | Станция | Долгота | Широта | Высота (м) | Диаметр (м) | Примечание |
| Бразилия | Atibaia, SP | -46° 33' 28" | -23° 11' 05" | 805 | 13,7 | S |
| Чили | San Pedro de Atacama | -67° 44' 00" | -23° 02' 00" | 5 000 | 64 × 12 | S |
| Мексика | Sierra Negra | -97° 18' 00" | 18° 59' 00" | 4 500 | 50 | S |
| США | Goldstone, CA | -116° 47' 40" | 35° 14' 50" | [] | 34 | S |
| | Green Bank, WV | -79° 50' 24" | 38° 25' 59" | 1 071 | 100 | S |
| | Socorro, NM | -107° 37' 06" | 34° 04' 44" | 946 | 27 × 25 | S |
| | St. Croix, VI | -64° 35' 01" | 17° 45' 24" | 16 | 25 | VLBI |
| | Hancock, NH | -71° 59' 12" | 42° 56' 01" | 309 | 25 | VLBI |
| | North Liberty, IA | -91° 34' 27" | 41° 46' 17" | 241 | 25 | VLBI |
| | Ft. Davis, TX | -103° 56' 41" | 30° 38' 06" | 1 615 | 25 | VLBI |
| | Los Alamos, NM | -106° 14' 44" | 35° 46' 31" | 1 967 | 25 | VLBI |
| | Pie Town, NM | -108° 07' 09" | 34° 18' 04" | 2 371 | 25 | VLBI |
| | Kitt Peak, AZ | -108° 07' 09" | 34° 18' 04" | 1 916 | 25 | VLBI |
| | Owens Valley, CA | -111° 36' 45" | 31° 57' 23" | 1 207 | 25 | VLBI |
| | Brewster, WA | -118° 16' 37" | 37° 13' 54" | 255 | 25 | VLBI |
| | Mauna Kea, HI | -119° 41' 00" | 48° 07' 52" | 3 720 | 25 | VLBI |
| | Kitt Peak, AZ | -155° 27' 19" | 19° 48' 05" | 1 916 | 12 | S |
| Mauna Kea, HI | -111° 36' 50" | 31° 57' 10" | 3 720 | 10,4 | S | |
| Westford, MA | -155° 28' 20" | 19° 49' 33" | [122] | 36 | S | |
| Westford, MA | -71° 29' 19" | 42° 37' 23" | | | | |
| Район 3 | | | | | | |
| Австралия | Parkes | 148° 15' 44" | -33° 00' 00" | 415 | 64 | S |
| | Mopra | 149° 05' 58" | -31° 16' 04" | 866 | 22 | S |
| | Narrabri, NSW | 149° 32' 56" | -30° 59' 52" | 237 | 6 × 22 | S |
| | Tidbinbilla | 148° 58' 59" | -35° 24' 18" | 677 | 34 | S |
| Япония | Nobeyama | 138° 28' 32" | 35° 56' 29" | 1 350 | 45 | S |
| | Kashima | 140° 39' 46" | 35° 57' 15" | 50 | 34 | S |
| | Mizusa | 141° 07' 57" | 39° 08' 01" | 117 | 20 | S |
| | Ogasawara | 130° 26' 25" | 31° 44' 53" | 569 | 20 | S |
| | Ishigakijima | 142° 13' 00" | 27° 05' 30" | 273 | 20 | S |
| | | 124° 10' 06" | 24° 24' 38" | 60 | 20 | S |
| Корея (Республика) | Taejon | 127° 22' 18" | 36° 23' 54" | 120 | 13,7 | S |
| | Yonsei U. | 126° 56' 35" | 37° 33' 44" | 260 | 20 | S |
| | Ulsan U. | 129° 15' 04" | 35° 32' 33" | 120 | 20 | S |
| | Tamna U. | 126° 27' 43" | 33° 17' 18" | 100 | 20 | S |
| Другие | | | | | | |
| Финансируется США | Антарктида | н/д | -90° 00' 00" | 3 000 | Разная | S |

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – S обозначает станции, на которых проводятся наблюдения с одной антенной, а VLBI обозначает станции, которые используются только для VLBI.

Научный интерес к полосе частот 43 ГГц очень высок. Наибольший интерес представляет наблюдение очень слабых радиисточников, которые достигают технологических пределов, соответствующих температурам шума антенны порядка 2–20 мкК, включающих интеграцию порядка 2000–4000 с. Длительные периоды интеграции важны для наблюдений слабых источников, которыми интересуются ученые. Были разработаны режимы корреляции и дифференцированного наблюдения и успешно используются для противодействия атмосферным колебаниям для того, чтобы иметь возможность таких длительных периодов интеграции.

Сверхбольшая антенная решетка (VLA) Национальной Радиоастрономической Обсерватории (NRAO) США, вероятно наиболее интенсивно используемый радиотелескоп в мире, примерно 20% всего времени работы за последние несколько лет проводил наблюдения в данной полосе частот. Та же статистика наблюдается и для радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (VLBA) NRAO. VLA и VLBA получают запросы на время наблюдения, превышающие их возможности в 2 или 3 раза.

Процент времени, которое каждая станция проводит на частоте 42 ГГц, зависит от станции и меняется год от года. Многие радиотелескопы в настоящее время обладают частотной гибкостью, что позволяет им каждую минуту и даже чаще переключаться с одной частоты на другую. Это позволяет использовать гибкое планирование, чтобы максимально эффективно использовать преимущества условий для наблюдения (погода и т.п.). Поэтому, с точки зрения изучения совместимости между службами, наиболее безопасно предположить, что радиоастрономические станции из Таблицы 42 могут осуществлять наблюдение на частоте 43 ГГц в любое время.

16.2 ФСС и РСС

16.2.1 Распределенная полоса частот передачи

Рассматриваемая полоса частот активной службы составляет 41,5–42,5 ГГц.

16.2.2 Применение

На основе данных МСЭ в пределах частоты 40 ГГц и соответствующем полосе частот канала передачи "Земля-космос" 47 ГГц планируется ввести в эксплуатацию более 250 систем службы ФСС и РСС. В Таблице 43 приведены типичные параметры систем ФСС, планируемых к работе в полосе частот 50/40 ГГц.

ТАБЛИЦА 43

Типичные характеристики системы связи "космос-Земля" геостационарной и негеостационарной систем службы ФСС, планируемых к работе в полосе частот 37,5–42,5 ГГц (Рекомендация МСЭ-R S.1557)

| Параметры | Геостационарная ФСС | Негеостационарная ФСС (МEO) |
|---|---|--|
| Размер луча антенны спутника (градусы) | От 0,3 до 0,6 | От 0,6 до 1,8 в зависимости от высоты спутника |
| Обычная мощность постоянного тока космической станции (кВт) | От 10 до 15 | От 3 до 5 |
| Обычная мощность спутниковой РЧ передачи на антенну | От 2,5 кВт до 3,5 кВт | От 700 Вт до 1,1 кВт |
| Количество лучей | От 30 до 60 | От 10 до 20 |
| Ширина полосы (ГГц) | От 2,0 до 5,0, включая HDFSS и станцию сопряжения/концентратор | |
| Схема повторного использования частоты | От 4 до 7 раз (большинство систем используют 4-х. кратную систему повторного использования частоты) | |
| Доступность линии связи: – Шлюз/концентратор (%) – HDFSS (VSAT) (%) | – > 99,9 – от 99,5 до 99,7 | |
| Полезная нагрузка | Прозрачный ретранслятор или полезная нагрузка обработки | |

ТАБЛИЦА 43 (окончание)

| Параметры | Геостационарная ФСС | Негеостационарная ФСС (МЕО) |
|---|--|-----------------------------|
| Минимальный рабочий угол места (градусы) | > 15 | > 20 |
| Модуляция | QPSK/8-PSK/16-QAM | |
| BER | От 1×10^{-8} до 1×10^{-10} | |
| Кодировка | Каскадный код | |
| Необходимая BN_0 (дБ) | От 6 до 12,5, в зависимости от модуляции и кодировки | |
| Уменьшение помех (дБ) | От 2 до 4 | |
| Допустимое искажение системы (дБ) | От 1 до 3 | |
| Размер антенны каждого терминала: | | |
| – Шлюз/концентратор (м) | – От 1,8 до 2,7 | – От 1,5 до 2,7 |
| – HDFSS (VSAT) (м) | – От 0,3 до 0,6 | – От 0,3 до 0,6 |
| Шумовая температура системы каждого терминала (К) | От 600 до 800 | |

HDFSS: Фиксированная служба спутниковой подвижной связи высокой плотности.

VSAT: Малый спутниковый терминал.

16.2.3 Уровни на основе существующих документов МСЭ

Следующие Рекомендации МСЭ-R являются важными:

Рекомендация МСЭ-R S.1557 – Рабочие требования и характеристики систем службы фиксированной спутниковой связи, работающих в полосе частот 50/40 ГГц, для использования в изучении совместного использования между фиксированной спутниковой службой и фиксированной службой.

Рекомендация МСЭ-R SF.1484 – Максимально допустимые значения плотности потока мощности, создаваемые на поверхности Земли негеостационарными спутниками фиксированной спутниковой службы, работающей в полосе частот 37,5–42,5 ГГц, для защиты фиксированной службы.

Рекомендация МСЭ-R SF.1573 – Максимально допустимые значения плотности потока мощности на поверхности Земли, создаваемыми геостационарными спутниками фиксированной спутниковой службы, работающей в полосе частот 37,5–42,5 ГГц, для защиты фиксированной службы.

Рекомендация МСЭ-R SM.1540 – Нежелательные излучения во внеполосном домене, попадающие в соседние распределенные полосы частот.

Рекомендация МСЭ-R SM.1541 – Нежелательные излучения в области внеполосных излучений.

16.2.4 Характеристики передатчика

Большинство систем ФСС предназначены для работы в полосе частот 50/40 ГГц для обеспечения высоких скоростей передачи данных, начиная от качества для видеоконференций на сверхвысоких скоростях передачи модуля STM-1 (155 Мбит/с) до $10 \times$ STM-4 (6,22 Гбит/с). Поскольку искажение передачи в данной полосе частот велико, применяются специальные решения конструкции, которые не всегда применимы на более низких частотах. Чтобы гарантировать доступность линии связи и высокую скорость передачи данных в полосе частот 40 ГГц, большинство рассматриваемых систем ФСС будут работать со спутниковыми антеннами с большим усилением. Ширина луча передающих и принимающих антенн по уровню 3 дБ наблюдается в полосе частот $0,3^\circ$ – $0,65^\circ$. Также, из-за веса спутника и ограничений мощности количество активных лучей в любой момент спутниковой зоны обслуживания всех систем ФСС, которые предполагается использовать в данных полосах частот, обычно меньше 5%. В соответствующем исследовании (Рекомендация МСЭ-R S.1557) предполагается, что системы ФСС и РСС, предполагаемые к использованию в полосе частот 40 ГГц, имеют одинаковые системные параметры.

В Таблице 43 указывается, что большинство рассматриваемых систем службы ФСС планирует использовать, как минимум, полосу шириной 2 ГГц в направлении космос-Земля, и большинство систем будет использовать систему с 4-кратным использованием частот. Это значит, что для каждого луча будет выделено 500 МГц. Однако некоторые рассматриваемые системы планируют использовать для каждого луча полосу шириной 2 ГГц. Реальная ширина полосы для каждого луча будет зависеть от применения и расстояний между лучами.

16.2.5 Эксплуатационные характеристики

См. Рекомендацию МСЭ-R S.1557 и п. 16.2.4.

16.2.6 Внутриполосный уровень излучения

Планируемые для эксплуатации в полосе частот 40 ГГц системы служб ФСС и РСС смогут только передавать на предельном уровне п.п.м., указанном в Таблице 21-4 РР, в течение очень небольшого количества времени (в процентах). Реальные уровни п.п.м. линии связи "космос-Земля" в условиях ясного неба будут зависеть от устройства каждой спутниковой системы, например, прозрачного ретранслятора, бортовой подготовки оборудования, модуляции, кодирования и т.д. При исследовании предполагалось, что системы службы ФСС будут, как правило, работать на уровне п.п.м., равном -117 дБ(Вт/м²) для углов места от 25° до 90° в условиях ясного неба.

Значение -117 дБ(Вт/(м² · МГц)) отражает уровень при условии ясного неба, что на 12 дБ ниже пикового уровня п.п.м., указанного в Таблице 21-4 РР. Из-за ограничений мощности космической станции полная мощность достигается только в течение очень коротких периодов времени на лучах, где должны преодолеваются влияния условий распространения. К тому же уровень ясного неба дает защиту определенным чувствительным системам фиксированной службы, работающим в этой полосе частот. Дополнительные детали содержатся в Рекомендациях МСЭ-R S.1557 и МСЭ-R SF.1572.

16.3 Порог совместимости

См. п. 16.1.3.

16.4 Оценка помех

16.4.1 Методика, использованная для оценки уровня помех

Пример, показанный на Рисунке 60, является примером наихудшего случая, основанным на необходимой полосе пропускания 500 МГц и максимальном уровне среза спектра, указанном в Рекомендации МСЭ-R SM.1541. Также в данном примере подразумевается, что необходимая полоса пропускания продолжается до границ распределения службы ФСС.

16.4.2 Вычисление уровня помех

Характеристическая кривая спектра на Рисунке 60 была подвергнута численному интегрированию для определения совокупной излучаемой мощности и влияния на непрерывную полосу шириной 1 ГГц.

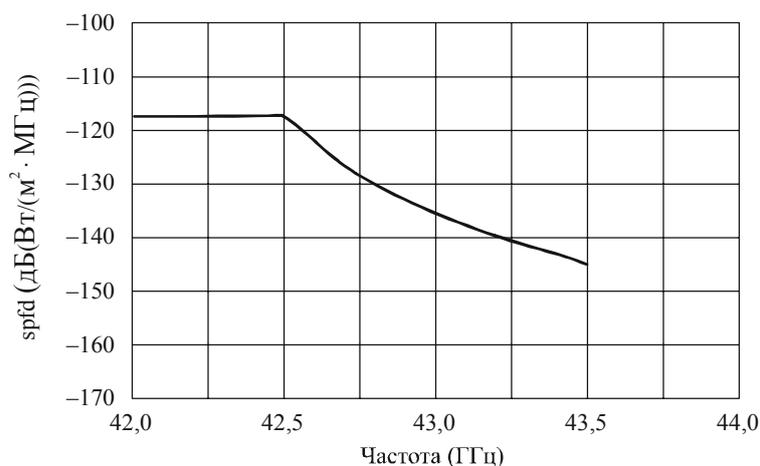
Значения были взяты из кривой (на расстоянии 3 дБ для того, чтобы отразить изменения в полосе частот с 1 МГц до 500 кГц) так, чтобы подтвердить соответствие с пороговым уровнем субмиллиметровой спектральной линии и с уровнем VLBI.

Вычисление подразумевает, что луч находится в подспутниковой точке. В результате реальные значения п.п.м. должны быть ниже для радиотелескопов, где угол места к спутнику меньше 90°.

Вычисление не учитывает влияние атмосферного затухания¹.

¹ См. Рекомендацию МСЭ-R P.676. На уровне моря значение будет лежать в пределах 1–2 дБ.

РИСУНОК 60
Спектральная характеристика



Отче 2091-60

16.4.3 Полученные значения

На основе данной кривой для полосы частот 42,5–43,5 ГГц получены следующие значения наихудшего случая:

- -97 дБ(Вт/(м² · ГГц)), что на 37 дБ выше порога континуума для полосы частот 42,5–43,5 ГГц.
- -120 дБ(Вт/(м² · 500 кГц)) на 42,5 ГГц, что на 36 дБ выше порога спектральной линии.

В результате для обеспечения соответствия критериям радиоастрономии потребуются применение одного или нескольких методов уменьшения помех.

16.5 Методы уменьшения помех

16.5.1 РАС

Возможными методами уменьшения помех для службы РАС могут быть:

- защитный интервал; либо
- другие методы уменьшения помех, как указывается в Рекомендации МСЭ-R SM.1542.

16.5.2 ФСС и РСС

16.5.2.1 Фильтрация на спутнике

Случай 1: Многолучевая космическая станция

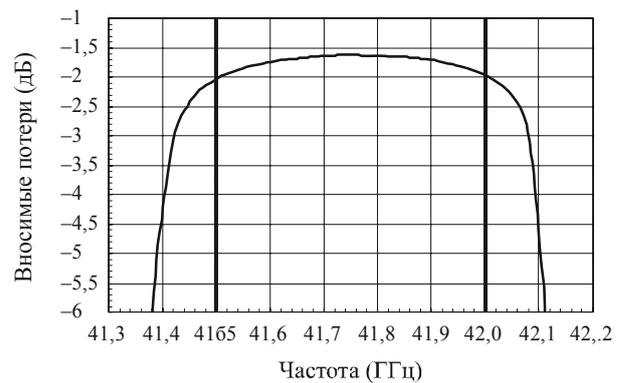
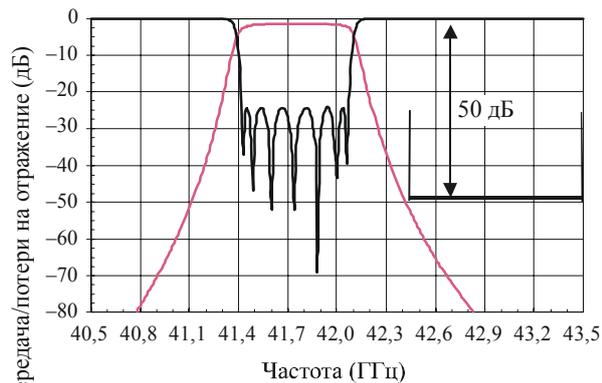
На Рисунке 61 показана кривая, приведенная в качестве примера работы устройства обычного фильтра в данной полосе частот с 7-полюсным фильтром для широкополосных сигналов.

Случай 2: Космическая станция с фазированной решеткой

На Рисунке 62 показана работа в данной полосе частот устройства обычного фильтра с 15-полюсным фильтром для широкополосных сигналов с фазированной решеткой.

РИСУНОК 61

Передача/потери на отражение/вносимые потери



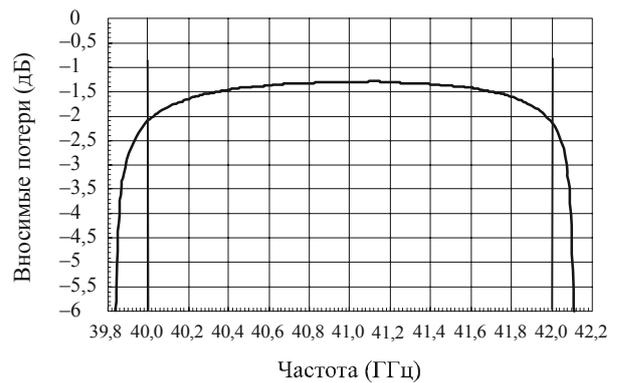
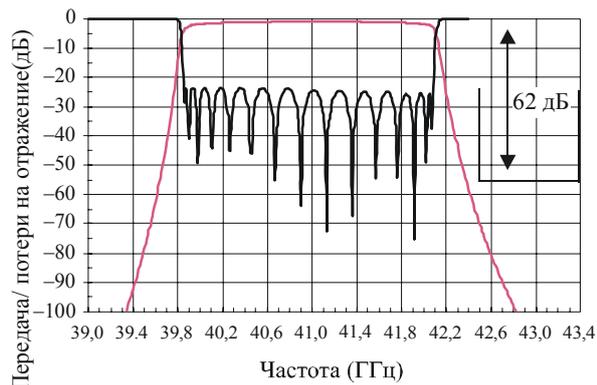
$N =$ фильтр 7 Te101

Размеры (В x Ш x Д): 1,125" x 1,125" x 3,80"/Вес: 0,24 ф (медь)

Отчет 2091-61

РИСУНОК 62

Передача/потери на отражение/вносимые потери



$N = 15$, каскад полосового фильтра (BPF) TE101 с фильтром нижних частот WR22 /волноводными фильтрами Wr22

Размеры (В x Ш x Д): 1,125" x 1,125" x 5,50"/Вес: 0,33 ф (для меди)

Отчет 2091-62

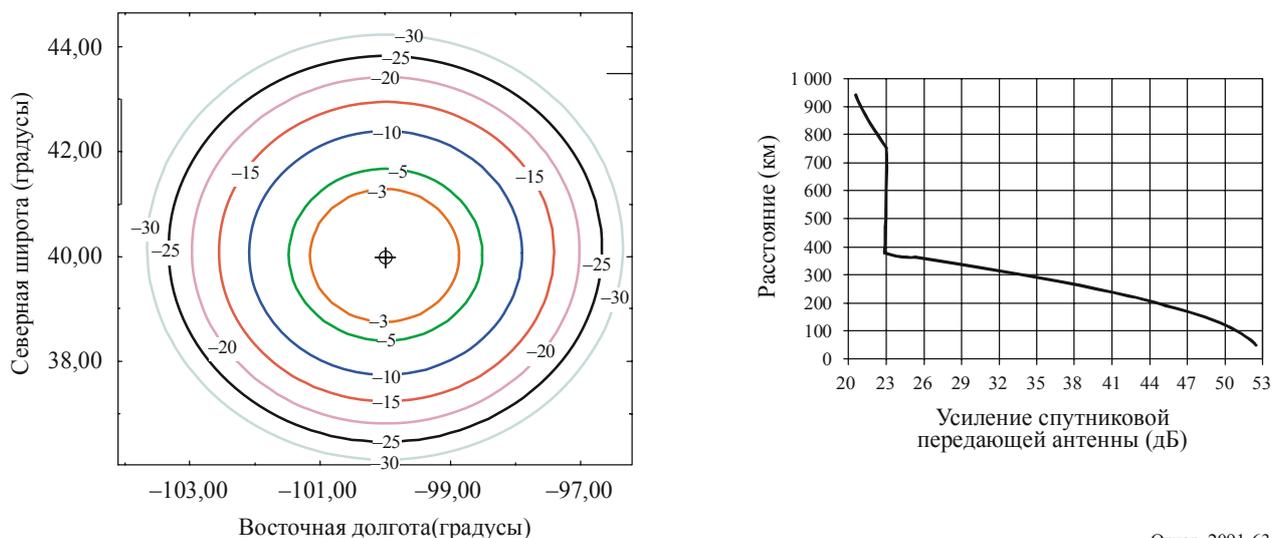
16.5.2.2 Географическая изоляция

Если системы ФСС и РСС, работающие в полосе частот 40,5–42,5 ГГц, не имеют возможности внедрения дополнительных фильтров передачи, необходимых для обеспечения соответствия критериям вредных помех станциям РАС, работающим в полосе частот 42,5–43,5 ГГц, в качестве метода уменьшения помех должна рассматриваться географическая изоляция.

В соответствии с Таблицей 43, размер луча передающей спутниковой антенны колеблется от $0,3^\circ$ до $0,6^\circ$. На левой стороне Рисунка 63 показаны контуры усиления антенны геостационарной космической станции с пиковым усилением 53 дБи, и шириной луча по уровню 3 дБ, равной $0,4^\circ$. Преимущество географической изоляции в отношении пикового усиления можно найти для каждого расстояния при помощи кривой с правой стороны Рисунка 63.

РИСУНОК 63

Контуры спутниковой антенны и расстояние между центром луча и границей покрытия по отношению к усилению спутниковой передающей антенны



Отчет 2091-63

16.5.2.3 Спектральная характеристика сигнала службы ФСС/РСС

Может быть выбран метод формирования спектра сигнала, используемого для передачи информации в ФСС/РСС, что уменьшит спад спектра, ограничивая, таким образом, количество передаваемых нежелательных излучений. Также можно настроить или отрегулировать высокоомощный усилитель так, чтобы еще больше уменьшить уровень нежелательных излучений от сигнала ФСС/РСС.

16.5.2.4 Защитный интервал

Защитный интервал между двумя службами позволит осуществлять спад сигнала и фильтра.

16.5.2.5 Дополнительные методы уменьшения помех

Дополнительные методы уменьшения помех перечислены в Рекомендации МСЭ-R SM.1542.

16.5.3 Возможное воздействие

16.5.3.1 РАС

Защитный интервал. В случае широкополосных непрерывных наблюдений использование защитного интервала может привести к эффективному снижению пропускной способности канала, так как потребуются увеличить время интегрирования для компенсации потери полосы. Данный метод имеет ограниченное применение, как описано в п. 16.1.3.

Эта полоса частот также включает в себя спектральные линии, связанные с молекулой однооксида кремния (SiO) на собственных частотах 42,519; 42,821; 43,122 и 43,424 ГГц, которые относятся к наиболее важным линиям в астрофизике, но которые не указаны в Рекомендации -R RA.314. Поэтому существуют ограниченные рамки для защитного интервала в пределах радиоастрономической полосы частот без влияния на возможность наблюдения за одной и более спектральной линией SiO.

16.5.3.2 Службы ФСС и РСС

16.5.3.2.1 Фильтрация на спутнике

В приведенном выше примере многолучевой передачи на основе 7-полюсного фильтра передачи вносимые потери составляют 2,0 дБ, что соответствует 37% ослаблению пропускной способности системы. Такая фильтрация увеличит вес космической станции на 120 г или больше на один луч, в зависимости от мощности передачи.

В приведенном выше примере фазированной решетки на основе 15-полосного фильтра передачи вносимые потери составляют 2,0 дБ, что соответствует 37% ослаблению пропускной способности системы. Такая фильтрация увеличит вес космической станции на 160 г или больше, в зависимости от мощности передачи. Для спутниковой станции с 2818-элементной фазированной антенной решеткой к массе оборудования будут прибавлены дополнительные 450 кг с соответствующими последствиями для стоимости и производительности.

Дополнительно, большинство систем, работающих с фазированными антенными решетками, предпочитают использовать твердотельные усилители мощности (SSPA). Если требуются дополнительные фильтры передачи и в зависимости от реальной мощности передачи вследствие дополнительных потерь, могут потребоваться усилители на ЛБВ (ЛБВ). Фазовые антенны с ЛБВ трудно встраивать.

16.5.3.2.2 Географическая изоляция

Данный метод уменьшения помех используется только, если количество радиотелескопов в области обслуживания невелико, и если их местонахождение учитывается при проектировании подсистемы антенны спутниковой станции. Также данный метод уменьшения помех ограничивает возможность перебазирования космической станции или переориентирования луча на другие участки поля обслуживания спутника.

16.5.3.2.3 Спектральная характеристика сигнала службы ФСС/РСС

Линейность высокоомощного усилителя (НРА) и точка динамического диапазона, на которой работает НРА, определяет спектральную характеристику излучения космической станции. Уменьшение нежелательных излучений от НРА может быть достигнуто при работе на более низкой входной мощности или улучшив линейность усилителя. Однако продолжение работы усилителя в линейном диапазоне уменьшает нежелательные излучения за счет уменьшения эффективности работы НРА. Оба метода оказывают влияние, как на пропускную способность космической станции, так и на ее стоимость и вес.

16.5.3.2.4 Защитный интервал

Использование любого защитного интервала дает уменьшение пропускной способности служб ФСС/РСС, если защитный интервал находится в пределах выделенной им полосы частот.

16.6 Результаты исследований

16.6.1 Резюме

Большинство станций службы РАС по всему миру используют данную полосу частот для измерений с одной антенной. Для соответствия уровням защиты для измерений с одной антенной потребуются набор подходящих методов уменьшения помех.

В одном из исследований рассмотрено разделение частот без какого-либо другого метода уменьшения помех. В данном исследовании учитывались системы ФСС и РСС, работающие в полосе частот до 42 ГГц, и уровни нежелательных излучений из Рекомендации МСЭ-R SM.1541. Это исследование показывает, что вредный уровень помех для VLBI, указанный в МСЭ-R RA.769, достигнут. Однако пороговые ограничения п.п.м. для наблюдений спектральной линии с использованием одной параболической антенны или континуумом не достигаются, и помехи будут достаточно серьезны, чтобы помешать любому эффективному астрономическому наблюдению, если не будут использованы дополнительные методы уменьшения помех.

Сценарий наихудшего случая, представленный в п. 16.4.1, в котором не используются никакие методы уменьшения помех, основывается на ширине необходимой полосы 500 МГц и уровне спада спектра, определенном в Рекомендации МСЭ-R SM.1541. Дополнительно, в данном примере подразумевается, что необходимая полоса пропускания продолжается до границ распределенной ФСС полосы частот 42,5 ГГц.

Нежелательные излучения, создаваемые в рассмотренном наихудшем случае превышают ограничения, указанные в п. 5.551G Регламента радиосвязи, а также критерии защиты наблюдений спектральной линии с использованием одной антенны и непрерывных наблюдений, указанные в Рекомендации МСЭ-R RA.769. Однако критерий VLBI соблюдается во всей полосе частот 42,5–43,5 ГГц. Недостатки могут быть

скорректированы за счет использования методов уменьшения помех. В работающих системах может использоваться другой набор методов уменьшения помех; вероятно, потребуется набор таких методов.

Если для некоторых систем вместо Рекомендации МСЭ-R SM.1541 используется предварительное представление спектра ФСС, описанное в Техническом Приложении к Дополнению 1 Рекомендации МСЭ-R SM.1633, неполное выполнение критерия непрерывных наблюдений сокращается. Это не всегда уменьшает неполное выполнение критерия на границах полосы частот, если только не подразумеваются дополнительные методы уменьшения помех. Однако отмечается, что данное представление спектра основано на работе в более низких полосах частот.

Ожидается, что при использовании одного или нескольких методов уменьшения помех, указанных в п. 16.5, системы ФСС/РСС могут соответствовать критерию защиты для непрерывных наблюдений из Рекомендации МСЭ-R RA.769. Кроме того, в некоторых участках полосы частот 42,5–43,5 ГГц системам ФСС может быть трудно соответствовать критерию для наблюдений спектральной линии. Вызывает сомнения применимость систем ФСС, для которых требуется соблюдение п. 5.551G Регламента радиосвязи, поскольку данные требования налагают строгие ограничения и существенно увеличивают стоимость спутниковой системы.

В результате маловероятно, что все потребности обеих систем будут удовлетворены. Для уточнения результатов исследования может потребоваться дальнейшая работа.

16.6.2 Заключение

В данной полосе частот пороговый уровень помех, вредных для радиоастрономических наблюдений, как указано в Рекомендации МСЭ-R RA.769, может быть достигнут службами ФСС и РСС для случая наблюдений VLBI. Для непрерывных наблюдений для систем ФСС/РСС может быть удастся достичь порога при помощи методов уменьшения помех. На части спектра возможно достижение требуемого уровня для измерений спектральной линии. Не ясно, будет ли достаточно применения методов уменьшения помех для того, чтобы обеспечить соответствие критериям по помехам для измерений спектральной линии на нижней границе полосы частот, распределенной РАС.

Так как примерно две трети станций службы РАС по всему миру (см. Таблицу 42) используют данную полосу частот для наблюдений с одной антенной, следовательно, для соответствия данным уровням защиты для наблюдений с одной антенной важно применять набор подходящих методов уменьшения помех.
