

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1759

Анализ помех от передач систем космической эксплуатации на ВЭО в полосах частот ФСС сетям ГСО и соответствующие руководящие указания для использования при разработке и эксплуатации оборудования телеметрии, слежения и управления для систем ФСС на ВЭО

(2006)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводится анализ помех от передач систем космической эксплуатации ФСС на ВЭО сетям ГСО в полосах частот ФСС в соответствии с пределами э.п.п.м., указанными в Статье 22 Регламента радиосвязи (РР). В ней также представлены методы, которые могут быть учтены при разработке и применении линий ТТ&С систем ГСО на ВЭО таким образом, который обеспечивает адекватную защиту линий ГСО на совпадающих частотах в соответствии со Статьей 22 РР.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что для всех спутников ФСС имеются требования в отношении телеметрии, слежения и управления (ТТ&С);
- b) что операции ТТ&С осуществляются на спутниках ФСС, находящихся на промежуточной орбите, а также во время регулярной эксплуатации (на орбите) на различных негеостационарных спутниковых орбитах (НГСО);
- c) что передачи сигналов телеуправления исходят и завершаются под контролем со стороны оператора спутниковой связи;
- d) что для несущих ТТ&С необходимы более высокие требования в отношении надежности в работе, чем для обычных несущих трафика, которые рекомендуются в Рекомендации МСЭ-R S.1716;
- e) что потеря несущих сигналов команд на линии вверх и телеметрии на линии вниз, а также выбор диапазонов несущих во время орбитальных маневров или когда на борту космического корабля имеет место критическая неисправность, может привести к потере спутника;
- f) что функции операций ТТ&С, как правило, будут обеспечиваться в рамках служебной полосы частот, в которой функционирует космическая станция, а не в рамках полос частот *службы космической эксплуатации* (СКЭ), и некоторые космические станции со служебной полосой выше 17 ГГц могут использовать ТТ&С в полосах ниже 17 ГГц;
- g) что операторам ФСС на ВЭО необходимо предоставить определенную гибкость в применении ТТ&С в наиболее подходящих полосах частот;
- h) что большинство спутников ФСС на ВЭО передают и принимают служебные несущие частоты только тогда, когда они находятся в рамках их "активных" дуг, имеющих большой угловой разнос от линий ГСО, но было бы нецелесообразным ограничивать операции ТТ&С такими активными дугами;
- j) что могут иметься несколько возможностей решения сложных задач эксплуатации линий ТТ&С для систем на ВЭО в полосах частот ФСС в соответствии с пределами э.п.п.м., указанными в Статье 22 Регламента радиосвязи (РР), при предоставлении надлежащей защиты системам ГСО, эксплуатируемым в этих полосах,

признавая,

- а) что в полосах частот, указанных в п. 22.2 РР, необходимо обеспечить, чтобы передачи сигналов ТТ&С на линии вверх и на линии вниз ВЭО не причиняли неприемлемых помех сетям ГСО ФСС и РСС;
- б) что в некоторых полосах частот, определенных в Статье 22 РР, спутники на ВЭО должны соответствовать пределам э.п.п.м.;
- с) что в полосах частот ФСС, отличных от тех, которые определены в пункте а) раздела *признавая*, совместное использование системами ФСС на ВЭО и сетями ГСО ФСС, подчиняется соответствующим положениям раздела 2 Статьи 9,

рекомендует,

1 чтобы приведенные в Приложении 1 технический и эксплуатационный анализ и методы могли быть учтены операторами систем ФСС на ВЭО при разработке и эксплуатации их систем ТТ&С.

Приложение 1

Анализ помех сетям ГСО от передач систем космической эксплуатации на ВЭО в полосах частот ФСС и некоторые методы ослабления помех

Резюме

Несмотря на то что типичный спутник на ВЭО (ссылка на систему на ВЭО в данном Приложении указывает на систему ФСС на ВЭО) передает и принимает служебные несущие, только когда он находится в пределах своей "активной" дуги или дуг, его несущие ТТ&С должны оставаться активными даже вне этой дуги (или дуг), и в связи с этим вероятны трудности при выполнении положений, указанных в п. 22.2 РР, в том числе, когда это применимо, пределов э.п.п.м., указанных в Статье 22 РР. Компьютерное моделирование линий ТТ&С в типовой системе на ВЭО приводит к установлению возможностей по преодолению этой проблемы.

1 Введение

В последнее время исследовательскими комиссиями МСЭ-R получены результаты многочисленных исследований помех между системами на ВЭО и сетями ГСО, и в целом результаты таких исследований показывают, что пределы э.п.п.м.↓ и э.п.п.м.↑, приведенные в таблицах 22-1А, В, D и E и таблице 22-2 Статьи 22 РР, могли бы соблюдаться соответствующими системами на ВЭО. В этих исследованиях помеха рассчитывалась для служебных линий систем на ВЭО, каждая из которых спроектирована таким образом, чтобы все ее спутники последовательно придерживались повторяющейся трассы орбиты с апогеем на самой высокой точке широты или близости от нее, а каждый спутник осуществлял прием или передачу, только когда он находится в пределах "активной" дуги, включающей апогей. Что касается служебных линий, то одно из последствий такой конфигурации обстоит в том, что ни один из спутников не осуществляет передачу или прием при прохождении через линию между любым геостационарным спутником и любой точкой на поверхности Земли или вблизи них. В проведенном недавно анализе двенадцати различных орбитальных конфигураций на ВЭО было обнаружено, что минимальный угол отклонения от оси по отношению к линии ГСО, при котором происходит любая передача служебной линии ВЭО, превышал 25°. Такая характеристика типичных систем на ВЭО, как правило, позволяет им соответствовать пределам э.п.п.м. без применения дополнительных методов ослабления помех.

Обычно "активная" дуга системы на ВЭО включает только четверть или треть каждого орбитального периода; в оставшуюся часть периода непрерывное действие служебных линий поддерживается другими спутниками, которые следуют повторяющейся трассе орбиты. Но для всех до единого спутников в системе требуются свои несущие сигналов телеметрии и телеуправления, действующие на частотах, выделенных им на исключительной основе (в рамках системы), и необходимо, чтобы эти несущие могли передаваться в любое время в течение нахождения спутника на орбите. Это действительно для всех типов геостационарных и негеостационарных спутников и не является характеристикой исключительно спутников на ВЭО. Ясно, что было бы нецелесообразно эксплуатировать спутники, несущие сигналов телеметрии и телеуправления которых могут передаваться только в течение четверти или трети каждого периода в 12, 18 или 24 часов, и возможно, что, в отличие от служебных линий систем на ВЭО, может оказаться необходимым осуществлять передачу по линиям ТТ&С во время перемещения линий ГСО "по одной линии". В связи с этим считается необходимым провести отдельную оценку линий ТТ&С систем на ВЭО в контексте п. 22.2 РР, в том числе, когда это применимо, пределов э.п.п.м., указанных в Статье 22 РР. Кроме того, необходимо отметить следующие моменты:

- Настоящее Приложение направлено главным образом на осуществление операций ТТ&С в рамках служебной полосы системы на ВЭО, а не в полосах *службы космической эксплуатации* (СКЭ), поскольку этот метод принято применять к разработке современных спутниковых систем. Кроме того, в п. 1.23 РР дается следующее определение СКЭ: "**1.23 служба космической эксплуатации:** Служба радиосвязи, предназначенная исключительно для эксплуатации космических кораблей, в частности для целей космического слежения, космической телеметрии и космического телеуправления. Эти функции обеспечиваются обычно в рамках службы, в которой работает космическая станция". В настоящем Приложении кратко изучается возможность осуществления операций ТТ&С в полосах частот СКЭ.
- Хотя пример системы на ВЭО основан на операциях ТТ&С в полосе 12–18 ГГц (полоса Ku), приведенные в настоящем Приложении результаты будут также применимы к операциям ТТ&С в других полосах частот, к которым применяются пределы э.п.п.м., содержащиеся в Статье 22 РР.
- В случае операций ТТ&С в полосах частот ФСС, к которым не применяются пределы э.п.п.м., настоящее Приложение также будет полезным при анализе помех и определении и оценке методов ослабления помех сетям ГСО.

2 Линии ТТ&С типовой системы на ВЭО

Чтобы оценить характер изложенной во введении проблемы, было разработано программное обеспечение, позволяющее рассчитать данные по помехам от линий ТТ&С типовой системы на ВЭО различным линиям вверх и линиям вниз ГСО. Ниже приводятся важнейшие характеристики типовой системы на ВЭО, известной в МСЭ-R под названием N-SAT-HEO2:

- три спутника следуют по одной трассе орбиты в плоскостях, отклоняющихся на 45° по отношению к экватору, восходящие узлы которых разнесены в плоскости экватора с интервалами в 120° ;
- высота апогея составляет 39 970 км, широта – 45° с. ш., а долгота, общая для всех трех плоскостей, – 135° в. д.;
- высота перигея составляет 31 602 км, эксцентриситет орбиты – 0,099; такое низкое значение эксцентриситета приводит к тому, что каждый спутник находится на высоте, превышающей высоту геостационарной орбиты, на всей "активной" дуге, и оказывается только примерно на 412 км ниже высоты геостационарной орбиты при пересечении экватора;
- при перемещении с севера на юг трасса орбиты спутников на ВЭО пересекает экватор на $123,7^\circ$ в. д., а при перемещении с юга на север – на $146,3^\circ$ в. д.;
- для служебных линий "активная" дуга простирается от 4 час. до апогея до 4 час. после апогея (т. е. для широт спутников выше $26,5^\circ$ с. ш.);

- имеются четыре несущие сигналы телеметрии с круговой поляризацией, т. е. по одной на каждый спутник плюс четвертая резервная, на отдельных частотах в диапазоне ФСС 12 ГГц, каждая из которых находится в полосе пропускания 605 кГц, хотя для большей части времени большая часть мощности находится в пределах ± 20 кГц от центральной частоты несущей; таким образом, общая полоса пропускания линии вниз составляет около 2,5 МГц; э.и.и.м. спутника на каждую несущую сигнала телеметрии составляет 7 дБВт; система спроектирована таким образом, что каждый спутник может постоянно осуществлять передачу своей несущей телеметрии;
- для каждого из трех спутников имеется одна несущая сигнала телеуправления с круговой поляризацией на отдельной частоте в диапазоне ФСС 14 ГГц в полосе пропускания 600 кГц, хотя вновь большая часть мощности обычно находится в пределах ± 20 кГц от центральной частоты несущей; общая полоса пропускания линии вверх составляет, таким образом, около 2 МГц; в обычном режиме э.и.и.м. на каждую несущую телеуправления составляет 50 дБВт (80 дБВт при аварийном режиме); система спроектирована таким образом, чтобы каждая из трех несущих телеуправления могла передаваться в любое время; для большей части каждой орбиты несущая телеуправления на каждый спутник передается (когда это необходимо) с земной станции TT&C, расположенной в Японии ($36,53^\circ$ с. ш./ $140,39^\circ$ в. д.), но, поскольку перигей с этой земной станцией не виден, ответственность за передачу сигналов телеуправления на каждый спутник (и прием сигналов телеметрии с каждого спутника) возлагается на земную станцию TT&C в Австралии ($33,9^\circ$ ю. ш./ $151,17^\circ$ в. д.), когда спутник находится в пределах ± 4 час. от перигея;
- земные станции TT&C имеют антенны диаметром 10 м, спроектированные таким образом, чтобы соответствовать диаграмме направленности антенны, указанной в Рекомендации МСЭ-R S.580, и отслеживать спутник, на который они передают сигналы телеуправления; поскольку в Рекомендации МСЭ-R S.580 диаграмма направленности приводится только для случаев от 1° или $100^*(\lambda/D)$, в зависимости от того, какое значение меньше (в данном случае значение $100^*(\lambda/D)$ меньше), необходимо использовать диаграмму главного лепестка из другой Рекомендации. В проведенном для этого примера анализе использовалась диаграмма для главного лепестка, приведенная в измененной Рекомендации МСЭ-R S.1428;
- для каждого спутника значение пикового усиления в луче передачи несущей сигнала телеметрии и приема несущей сигнала телеуправления составляет 16 дБи, что соответствует половине мощности луча шириной около 30° , и моделируется как соответствующее положением Рекомендации МСЭ-R S.672; каждая спутниковая антенна TT&C устанавливается на космическом корабле и направляется в подспутниковую точку, за исключением времени активной дуги, когда ориентация спутника контролируется, с тем чтобы он продолжал быть направленным на Японию.

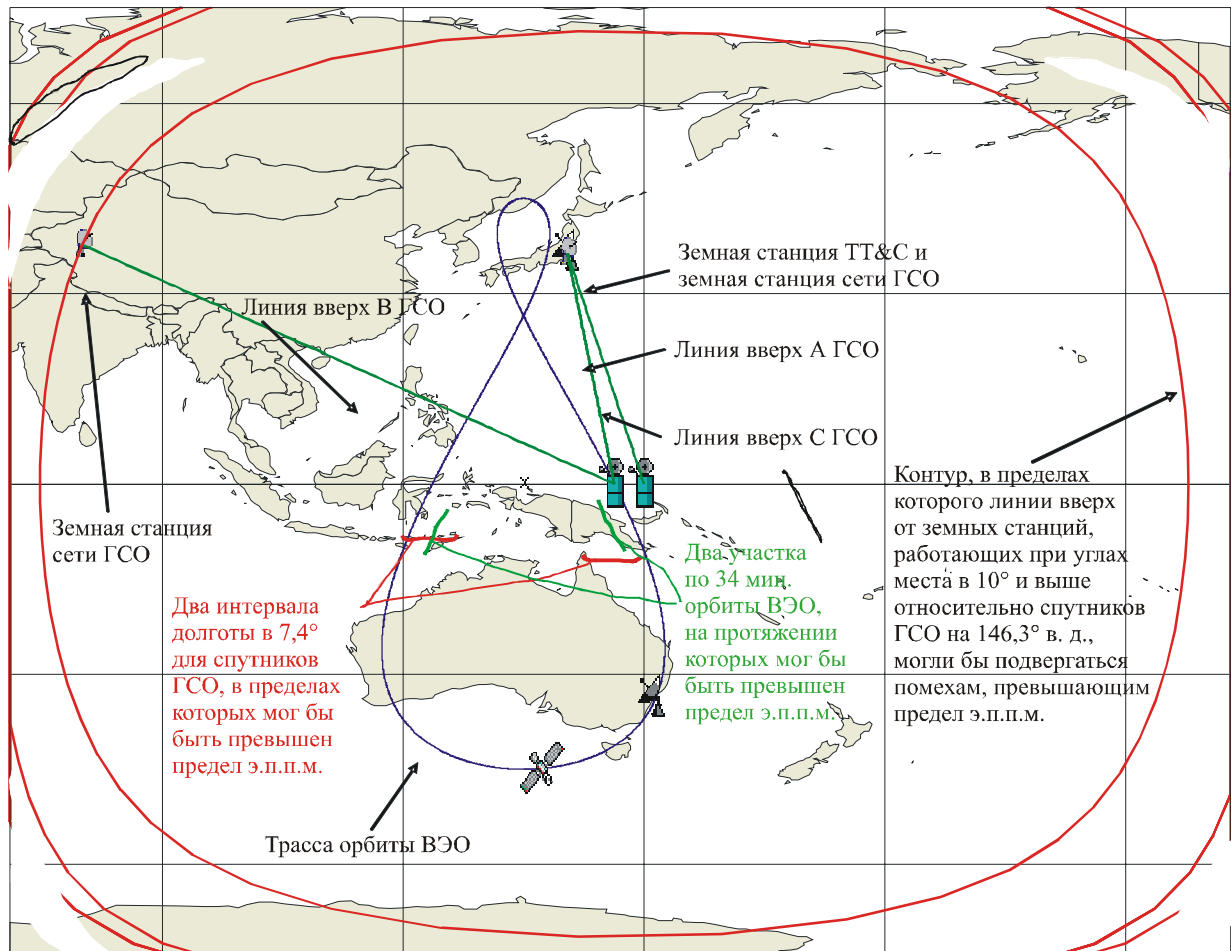
Действие этой системы иллюстрируется на рисунках 1 и 3, на которых видно, что три спутника на ВЭО следуют единой повторяющейся трассе орбиты, а также показаны земные станции TT&C в Японии и Австралии. На рисунке 1 показана несущая сигнала телеуправления, создающая помехи трем линиям вверх ГСО, где линия вверх А представляет наихудший случай в результате действия помехи главного луча главному лучу (земной станции TT&C на ВЭО спутнику ГСО) во время пересечения экватора системой на ВЭО; линия вверх В представляет собой линию от земной станции ГСО при угле места 10° к спутнику с долготой для наихудшего случая; линия вверх С представляет собой линию к спутнику ГСО, который находится достаточно далеко от одной из двух долгот для наихудших случаев, что позволяет соответствовать пределу э.п.п.м. \uparrow . Следует отметить, что для линий вверх А и С земная станция ГСО расположена в том же месте, что и земная станция TT&C на ВЭО. Для линий вверх А и В долгота ГСО = $146,3^\circ$ в. д. Для линии вверх С земная станция ГСО расположена в $3,7^\circ$ к востоку на $150,0^\circ$ в. д.

Точно так же на рисунке 3 иллюстрируется случай несущей сигнала телеметрии, причиняющей помехи трем линиям вниз ГСО – D, E и F, аналогичным по характеру указанным трем линиям вверх. Для линии вниз F имеется спутник ГСО и соответствующая земная станция на экваторе, расположенные на долготе = $121,4^\circ$ в. д., рассчитанной как расположенной достаточно далеко ($2,3^\circ$) от $123,7^\circ$ в. д. (одна из двух долгот для наихудших случаев), что позволяет соответствовать пределу э.п.п.м. \downarrow . Для линий вниз D и E долгота спутника ГСО = $123,7^\circ$ в. д. Земная станция ГСО для линии вниз D находится на экваторе также на долготе = $123,7^\circ$ в. д. Земная станция ГСО для линии вниз E

расположена в точке, где ее угол места относительно ее спутника ГСО составляет 10° . Следует отметить, что угол места линий как D, так и F составляет 90° .

РИСУНОК 1

Орбитальные позиции ГСО и местоположения земных станций для анализа э.п.п.м. линии вверх



1759-01

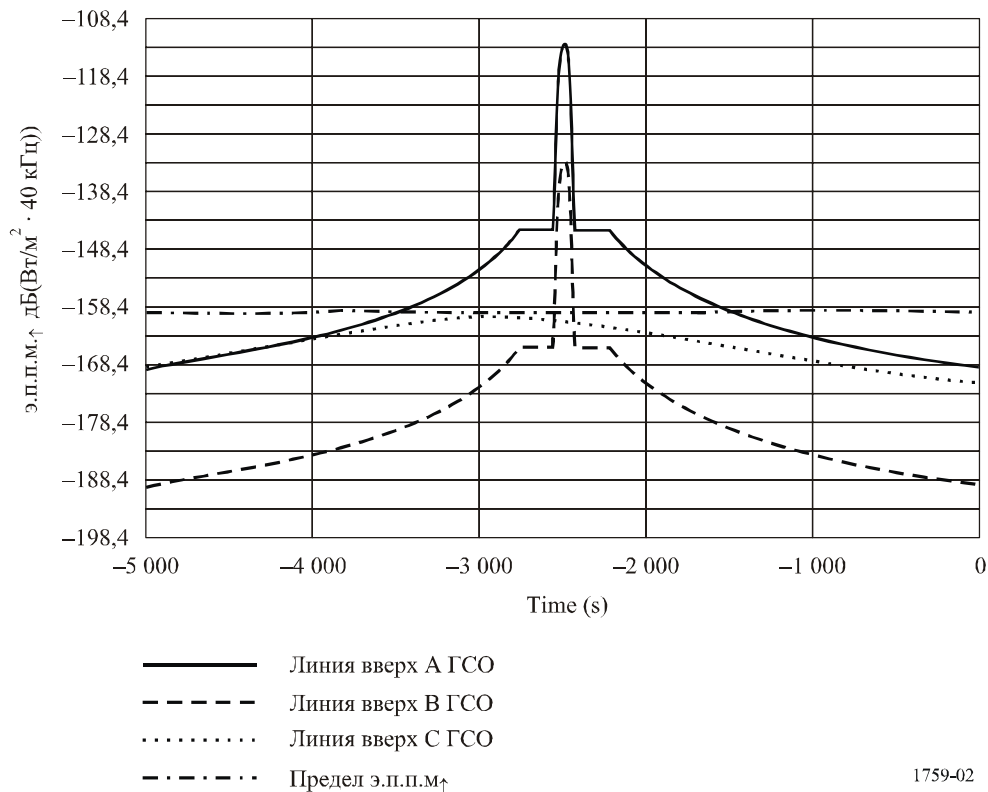
Следует отметить, что идея, на которой основан выбор трех типовых линий ГСО для каждого случая, состоит в том, чтобы охватить обстоятельства, при которых пределы э.п.п.м. были бы превышены несущими сигналами соответствующих систем на ВЭО, если не принять мер для избежания этого. Следовательно:

- линия А – это наихудший случай для линии вверх, поскольку спутник ГСО для системы на ВЭО расположен на долготе, пересекающей экватор, и это приведет к тому, что спутник ГСО будет периодически попадать в главный луч антенны с высоким усилением земной станции TT&C системы на ВЭО;
- точно так же линия D – это наихудший случай для линии вниз, ввиду того что спутник на ВЭО периодически попадает в главный луч приемной антенны земной станции ГСО;
- линии В и Е относятся к спутникам ГСО при наихудших случаях долготы в отношении помех со стороны системы на ВЭО, но протяженность траектории, когда помехи имеют место, является максимальной для линии Е, и земные станции ГСО работают при минимальном угле места на обеих линиях; и
- линии С и F относятся к спутникам ГСО, которые находятся на достаточном расстоянии по долготе от точек пересечения экватора системой на ВЭО, с тем чтобы был достигнут соответствующий предел э.п.п.м. на самой короткой траектории, на которой имеют место помехи.

На рисунке 2 представлен график временной зависимости э.п.п.м.↑ на линиях вверх А, В и С, когда один из спутников на ВЭО пересекает плоскость экватора, показывающий, что предел существенно превышен в первых двух случаях для ограниченных отрезков времени, но едва достигнут в случае линии С. Рисунок 4 представляет формат определения канала (CDF) для данных по э.п.п.м.↓ для трех линий вниз ГСО в течение полного орбитального периода, и вновь можно увидеть, что маска пределов превышает на линиях D и E, но едва достигается для линии F.

РИСУНОК 2

Колебание э.п.п.м.↑ во время перемещений "по одной линии"



1759-02

3 Воздействие помех от ТТ&С типовой системы на ВЭО

Воздействие несущей сигнала телеуправления показано на рисунке 1, а количественные оценки приводятся на рисунке 2, и такое воздействие можно подытожить следующим образом:

Предел э.п.п.м.↑ превышался бы в некоторых поддиапазонах в 40 кГц в рамках общей полосы пропускания примерно в 2 МГц. Затрагивались бы только линии вверх к спутникам ГСО на долготах в пределах двух интервалов в $8,0^\circ$, включающих около 14% имеющихся в регионе участков орбиты. В этих случаях пределы превышались бы для двух периодов продолжительностью до 37,7 мин. на каждый орбитальный период, включающий максимум 5,25% времени. В наихудших случаях предел превышался бы на несколько десятков дБ для периодов продолжительностью в несколько десятков минут, и хотя процент земных станций, линии вверх которых затрагивались бы, был бы ограниченным, такие земные станции могли бы находиться в любом географическом местоположении в регионе.

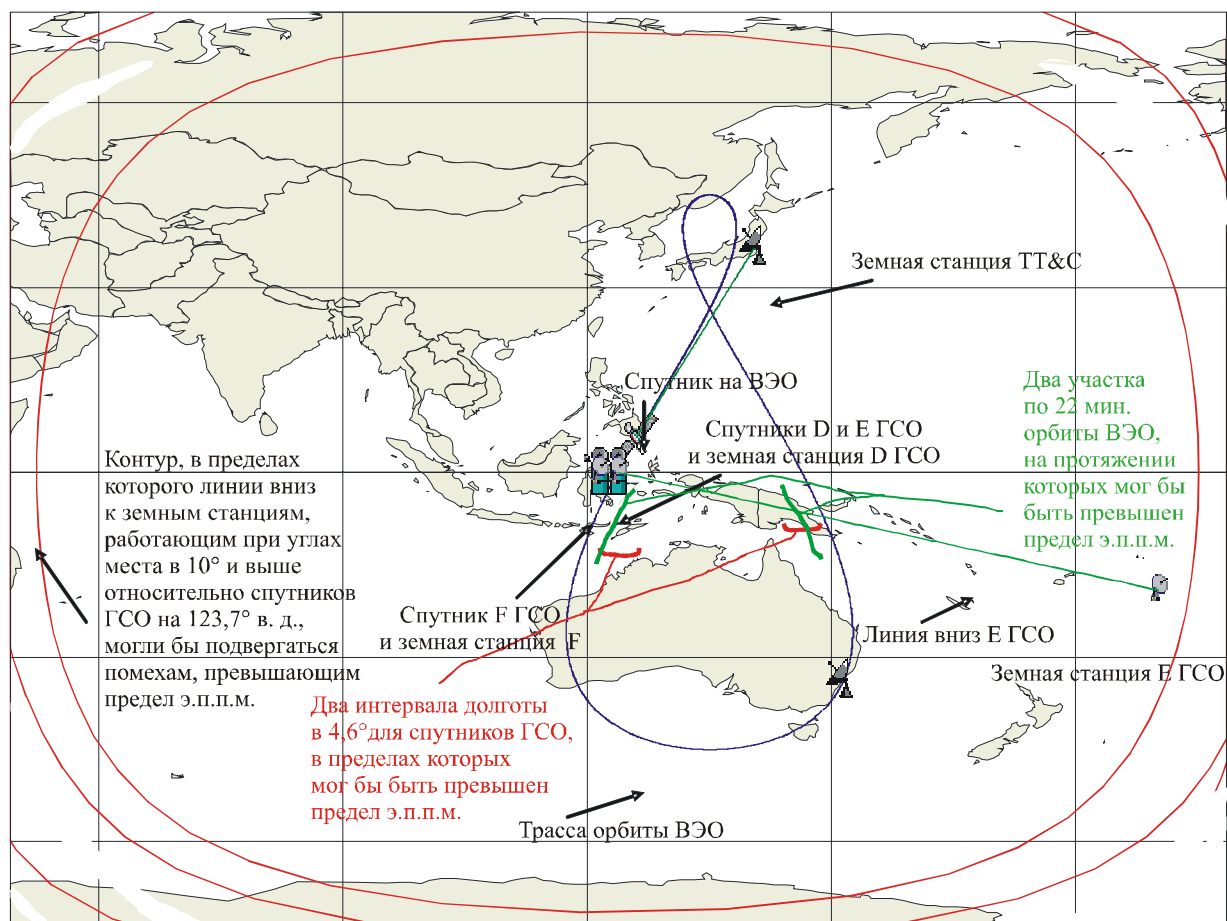
Воздействие несущей сигнала телеметрии показано на рисунке 3, а количественные оценки приводятся на рисунке 4 и в Прилагаемом документе 1 к Приложению 1 (см. рисунок 5 и таблицу 1), и такое воздействие можно подытожить следующим образом:

Маски пределов э.п.п.м.↓ превышались бы в некоторых поддиапазонах в 40 кГц в рамках общей полосы пропускания примерно в 2,6 МГц. Затрагивались бы только линии вниз со спутников ГСО на долготах в пределах двух интервалов в $4,6^\circ$, включающих около 9% имеющихся участков орбиты.

В этих случаях маска пределов э.п.п.↓ для антенн диаметром 1,2 м превышалась бы только для двух периодов продолжительностью до 16,5 мин. на каждый орбитальный период, включающий максимум 2,3% времени. В наихудших случаях максимальный уровень э.п.п.↓ в маске пределов (т. е. в краткосрочном плане) превышался бы на несколько дБ, а относящаяся к среднесрочному периоду часть маски превышалась бы на 10–20 дБ. Хотя процент земных станций, линии вниз которых затрагивались бы, был бы ограниченным, такие земные станции могли бы находиться в любом географическом местоположении в регионе.

РИСУНОК 3

Орбитальные позиции ГСО и местоположения земных станций для анализа э.п.п. линий вниз



1759-03

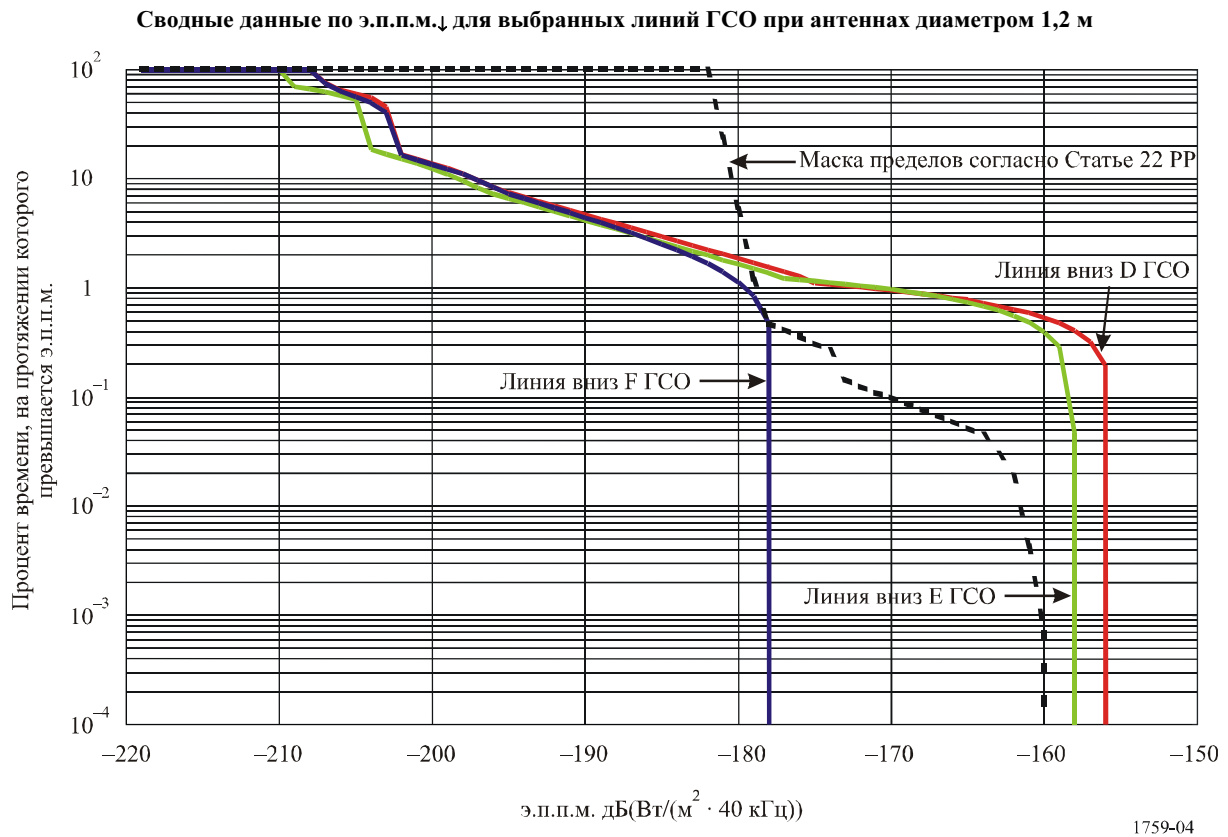
4 Методы ослабления потенциальных помех

В следующих двух разделах излагаются методы, которые были определены для частичного ослабления или полного устранения потенциальных помех от передач на линиях вверх и линиях вниз сигналов ТТ&С систем на ВЭО в направлении сетей ГСО. По каждому из изучаемых методов предоставлялась следующая информация:

- способы возможной реализации каждого метода,
- возможные преимущества каждого метода для операторов систем на ВЭО, и
- потенциальные проблемы и недостатки реализации каждого из методов для операторов систем на ВЭО.

Во время разработки систем ТТ&С на ВЭО операторы таких систем могли решить внедрять один или несколько из установленных методов ослабления помех, принимая во внимание их преимущества и недостатки, в том числе проблемы проектирования при каждом из методов для сохранения надежности и уменьшения воздействия на затраты.

РИСУНОК 4



4.1 Возможности для линий вверх

4.1.1 Приостановка телеуправления: Помехи были бы устранены, если было бы возможно в нечрезвычайных ситуациях передавать сигналы телеуправления на спутники ВЭО во время суток, отличное от критических периодов, примеры которых приводятся на рисунке 1. В случае необходимости выполнения этой функции на спутник в течение критического периода, следует рассмотреть возможность послать команду до начала критического периода и добавить соответствующую задержку в исполнении этой команды.

4.1.1.1 Реализация

- Существующие системы ТТ&С включают, как правило, функции программного обеспечения по контролю за временем исполнения команд телеуправления на линиях вверх с целью обеспечения гибкости работы спутников. В связи с этим указанный выше метод может быть легко реализован посредством надлежащего использования этой функции программного обеспечения.
- Если во время критического периода необходимо активировать некоторые команды, такие эти команды могли бы быть переданы по линии вверх до начала критического периода, сохранены на спутнике и в надлежащее время активированы.

4.1.1.2 Преимущества

- Учитывая, что при указанном выше методе ослабления помех используется функция, которая, как правило, уже включена в современные реализации ТТ&С, для спутников на ВЭО и их земных станций ТТ&С не потребовалось бы дополнительных функциональных возможностей для оборудования или программного обеспечения.
- Этот метод сам по себе предусматривает эффективное средство, обеспечивающее полное соответствие линий телеуправления систем на ВЭО пределам э.п.п.м.↑, указанным в Статье 22 PP.

4.1.1.3 Недостатки

- Критический период включает восходящий узел и нисходящий узел орбиты ВЭО, которые являются оптимальными орбитальными позициями для маневров по удержанию станции на орбите. Эти маневры требуют, как правило, передачу в реальном времени интерактивной последовательности сигналов телеуправления на линии вверх и спутниковой телеметрии, а также информации о состоянии на линии вниз. До запуска двигателей спутника обычно необходимо проверить реальновременную телеметрическую информацию на земной станции ТТ&С. В результате маневры по удержанию станции на орбите должны были бы осуществляться, когда спутник находится на орбите в нескольких градусах от оптимальной позиции. Такое эксплуатационное ограничение потребовало бы дополнительного расхода топлива, вес которого увеличил бы общую массу спутников на ВЭО.

4.1.2 Расширенный спектр для сигналов телеуправления: В принципе было бы возможным уменьшить уровни э.п.п.м.↑ путем добавления модуляции с расширением спектра для несущих телеуправления систем на ВЭО. Для уменьшения максимального уровня э.п.п.м.↑, приведенного на рисунке 2, до регламентарного предела потребуется расширение примерно на 45 дБ.

4.1.2.1 Реализация

- Данный метод ослабления помех мог бы быть реализован путем добавления модулятора с расширением спектра (РС) для земных станций ТТ&С и демодулятора РС для каждого спутника на ВЭО.
- Для эффективного применения метода модуляции РС требуется, чтобы модуляция РС применялась только вне активной дуги, с тем чтобы не создавать помех служебным линиям систем на ВЭО. Применение метода модуляции РС могло бы в дальнейшем ограничиваться исключительно случаями применения во время критических периодов. Когда спутник на ВЭО выходит из активной дуги (или приближается к критическому периоду) на своей орбите, земная станция ТТ&С направляла бы команды для включения демодуляции РС. Когда спутник приближается к активной дуге (или проходит критический период), станция ТТ&С направляла бы команды для переключения на обычную модуляцию. При такой операции по переключению потребовалось бы только расширить полосу пропускания модуляции РС в пределах полосы, используемой для служебных линий, в те периоды времени, когда спутник находится вне активной дуги. Такое расширение полосы РС дает возможность уменьшить э.п.п.м.↑. В случае типовой системы на ВЭО можно было бы достичь уменьшения э.п.п.м.↑ на 32 дБ, используя для каждой несущей сигнала телеуправления полосу пропускания в 60 МГц. Если внедрения этого метода недостаточно для обеспечения пределов э.п.п.м.↑, указанных в Статье 22 РР, потребовалось бы применять дополнительные методы ослабления помех.

4.1.2.2 Преимущества

- При изложенном выше методе расширения полосы РС для уменьшения э.п.п.м.↑ эффективно использовалась бы полоса пропускания для служебных линий вверх, которая обычно не используется за пределами активной дуги.

4.1.2.3 Недостатки

- Хотя использование модуляции РС для ТТ&С не является новым методом, в настоящее время он распространен не очень широко. В связи с этим внедрение такого метода потребовало бы разработки нового оборудования РС для спутников на ВЭО и земных станций ТТ&С.

4.1.3 Разнесение земных станций: В принципе пиковые уровни э.п.п.м.↑ можно было бы уменьшить путем разнесения земных станций. Однако для типовой системы на ВЭО было обнаружено, что, хотя оптимальное согласование во времени передачи управления между двумя земными станциями ТТ&С, разделенными расстоянием более 8000 км, уменьшило бы максимальный уровень э.п.п.м.↑ примерно на 15 дБ, установленный предел все же превышался бы на значительную величину дБ.

4.1.3.1 Реализация

- Данный метод ослабления помех потребовал бы размещения земных станций ТТ&С на двух или более позициях с достаточным расстоянием между ними. Для поддержания достаточного угла разноса от сетей ГСО передача управления между станциями проводилась бы в соответствии с местоположением спутников.

4.1.3.2 Преимущества

- Данный метод мог бы уменьшить максимальный уровень э.п.п.м.↑ и при использовании в сочетании с другими методами ослабления помех мог бы содействовать тому, чтобы система на ВЭО соответствовала пределам э.п.п.м.↑.

4.1.3.3 Недостатки

- Хотя этот метод является эффективным для спутниковых систем на низкой околоземной орбите (НОО), геометрия которых позволяет легко поддерживать достаточный угол разноса от сетей ГСО, геометрия систем на ВЭО, как правило, не позволяет обеспечивать достаточный угловой разнос от ГСО в течение периодов, когда несущие телеуправления превышали бы предел э.п.п.м.↑. В связи с этим данный метод имеет ограниченную эффективность для систем на ВЭО.
- Требуется одна или несколько дополнительных земных станций ТТ&С с широким географическим разносом (при превышении которого необходимо устанавливать надежную линию наземной связи), но не все системы на ВЭО имеют такую функцию.

4.1.4 Приемная антенна телеуправления с высоким усилением: В типовой системе на ВЭО прием несущих телеуправления обеспечивался бы посредством широкого луча антенны спутника (пиковое усиление в 16 дБи). Если прием служебных линий вверх такой системы обеспечивался бы посредством луча с большим усилением (например, пиковое усиление в 30 дБи), то можно было бы рассмотреть возможность перевода приема сигналов телеуправления на этот луч, позволяя таким образом уменьшить э.и.и.м. земной станции ТТ&С (например, на 14 дБи), что уменьшило бы на такую же величину максимальный уровень э.п.п.м.↑. Однако это требует контроля за лучом с высоким усилением даже за пределами активной дуги, что может усложнить проектирование спутника.

4.1.4.1 Реализация

- Данный метод ослабления помех мог бы быть реализован путем установки на спутниках ВЭО одной или нескольких приемных антенн ТТ&С с высоким усилением и с управляемым лучом. Такие бортовые антенны постоянно следили бы за земными станциями ТТ&С. Спутники на ВЭО имели бы возможность передачи управления станциями ТТ&С, используя внедренный механизм передачи управления лучом.

4.1.4.2 Преимущества

- Для земных станций ТТ&С не требовалось бы какое-либо дополнительное оборудование. В то же время для земных станций ТТ&С могло бы быть уменьшено требуемое значение усиления.

4.1.4.3 Недостатки

- Спутниковая приемная антенна ТТ&С должна быть антенной с большой апертурой с функцией высокоточного отслеживания, способной охватывать широкий управляемый угол.

4.1.5 Использование полос СКЭ для телеуправления: Если при передачах ТТ&С упомянутой выше системы на ВЭО использовались бы полосы частот, распределенные СКЭ вместо вышеуказанных полос частот, то проблема несоответствия Статье 22 РР была бы снята. Хотя этим была бы снята проблема, касающаяся пределов э.п.п.м., указанных в Статье 22 РР, поскольку они не применяются в полосах СКЭ, физическое явление помех в полосе СКЭ сохранилось бы.

4.1.5.1 Реализация

- Данный метод ослабления помех мог бы быть реализован путем установки независимого РЧ оборудования (антенны, усилителя большой мощности, твердотельного усилителя большой мощности HPA/SSPA, МШУ, преобразователя и т. д.) для систем ТТ&С (на спутниках и земных станциях) с использованием полос частот, отличных от полос служебных линий.

4.1.5.2 Преимущества

- Операции ТТ&С систем на ВЭО не были бы ограничены пределами э.п.п.м., указанными в Статье 22 РР.
- Учитывая, что полосы СКЭ распределены в диапазоне S или полосах более низких частот, было бы легче поддерживать достаточный запас для линии ТТ&С.

4.1.5.3 Недостатки

- Поскольку каждая распределенная СКЭ полоса пропускания уже, чем полосы, к которым применяются пределы э.п.п.м., совместное использование этих полос частот с другими системами может быть затруднительным.
- При операциях спутника и земной станции ТТ&С нельзя было бы совместно использовать РЧ оборудование, применяемое для служебных линий.

4.1.6 Выбор частот для телеуправления: Учитывая, что линии вверх ТТ&С для каждой спутниковой системы занимают только несколько МГц полосы пропускания, масштаб проблемы был бы уменьшен, если бы несущие сигналов телеуправления всех систем НГСО могли бы быть размещены в той же полосе частот в несколько МГц.

4.1.6.1 Реализация

- По мере возможности, выбранные для телеуправления частоты должны находиться за пределами полос пропускания транспондера и полос пропускания частот ТТ&С спутников ГСО, находящихся вблизи от долгот пересечения экватора системами на ВЭО.

4.1.6.2 Преимущества

- Этот вариант эффективен в отношении систем ГСО, которые имеются, когда система на ВЭО зарегистрирована.

4.1.6.3 Недостатки

- Учитывая, что системы на ВЭО являются системами НГСО, согласно действующему РР не допускается применять этот метод для решения проблемы в полосах, в которых применяются пределы э.п.п.м.[†], указанные в Статье 22 РР. В связи с этим в таких полосах этот метод мог бы только ограничить масштаб проблемы.
- ИФИК БР может не содержать полной информации о частотах телеуправления, используемых потенциально затрагиваемыми сетями ГСО.

4.1.7 Межспутниковые линии: Если межспутниковые линии реализуются между спутниками в системе на ВЭО или между такими спутниками и сетью спутников-ретрансляторов данных, то сигналы телеуправления могут передаваться на спутник ВЭО, находящийся на активной дуге или вблизи от нее, либо на спутник-ретранслятор данных и затем ретранслироваться на другие спутники посредством межспутниковых линий.

4.1.7.1 Реализация

- Данный метод мог бы быть реализован с помощью установки на каждом спутнике ВЭО дополнительного оборудования для межспутниковых линий ТТ&С.

4.1.7.2 Преимущества

- Управление всеми спутниками в любое время было бы возможным с земных станций ТТ&С, действующих на первичной основе, при отсутствии потенциальных помех со стороны линий вверх, создаваемых к сетям ГСО.
- Минимальное воздействие на земные станции ТТ&С; отсутствие необходимости в удаленных земных станциях ТТ&С.

4.1.7.3 Недостатки

- Спутники придется оснастить дополнительным оборудованием для межспутниковой линии, а также для управления обнаружения и слежением, осуществляемыми антенной межспутниковой линии.
- Для спутников был бы необходим метод резервирования ТТ&С в случае отказа межспутниковой линии.
- Данный метод может создавать дополнительные проблемы при проектировании, поскольку потребовалась бы, чтобы система на ВЭО не создавала потенциальных помех сетям ГСО, которые могли бы быть обусловлены геометрией межспутниковой линии системы ВЭО.

4.2 Возможности для линий вниз

4.2.1 Приостановка телеметрии: Проблема была бы устранена, если было бы возможно прекратить передачу несущей сигнала телеметрии с каждого спутника ВЭО на время продолжительности критических периодов (например, для двух периодов по 22 мин. в день, как это показано на рисунке 3). В случае реализации такого решения, при возникновении неисправности на спутнике во время одного из критических периодов, персонал земной станции ТТ&С был бы информирован об этом только после возобновления передачи несущей телеметрии.

В Прилагаемом документе к настоящему Приложению излагается метод итерации, который может быть использован для определения минимального периода отключения телеметрии системы на ВЭО. Такой метод включает в себя определение точного времени/местоположения орбиты, при которых отключается (и включается) несущая телеметрии конкретного спутника на ВЭО, с тем чтобы обеспечить соблюдение соответствующего предела э.п.п.м.↓.

4.2.1.1 Реализация

- Имеющиеся системы ТТ&С обычно включают функцию программного обеспечения, которая дает возможность контролировать передачу телеметрии на линиях вниз для обеспечения гибкости работы спутников. В связи с этим указанный выше метод ослабления помех мог бы быть легко реализован путем соответствующего применения этой функции программного обеспечения для управления спутником с целью остановки передач телеметрии во время критического периода и возобновления передач телеметрии сразу после окончания критических периодов.
- Во время критических периодов позиция и высота спутника будут оцениваться на земных станциях ТТ&С с использованием алгоритмов прогнозирования орбиты.

4.2.1.2 Преимущества

- При данном методе не требуется дополнительное оборудование для спутников на ВЭО или земных станций ТТ&С.
- Данный метод сам по себе предоставляет эффективные средства обеспечения полного соответствия линий телеметрии систем на ВЭО пределам э.п.п.м.↓, указанным в Статье 22 РР.

4.2.1.3 Недостатки

- Данные телеметрии не будут передаваться на земные станции ТТ&С в течение периодов, когда в ином случае маска э.п.п.м.↓ была бы превышена. Такие периоды включают восходящий узел и нисходящий узел орбиты на ВЭО, которые являются оптимальными орбитальными позициями для маневров по удержанию станции на орбите. Эти маневры требуют, как правило, передачу в реальном времени интерактивной последовательности сигналов телеуправления на линии вверх и спутниковой телеметрии, а также информации о состоянии на линии вниз. До запуска двигателей спутника обычно необходимо проверить реальную телеметрическую информацию на земной станции ТТ&С. В результате маневры по удержанию станции на орбите должны были бы осуществляться, когда спутник находится на орбите в нескольких градусах от оптимальной позиции. Такое эксплуатационное ограничение потребовало бы дополнительного расхода топлива, вес которого увеличил бы общую массу спутников на ВЭО.

- Если во время периода отключения происходили бы отказы системы контроля высоты спутника на ВЭО или возникали какие-либо другие проблемы, влияющие на орбиту спутника, то в течение какого-то времени оператор спутника не получал бы надежных данных, касающихся этой проблемы, ввиду прекращения передач телеметрии. Это могло бы снизить возможности оператора спутника по принятию коррективных мер.
- Приостановка телеметрии приводит к существенному снижению эксплуатационной готовности. Согласно Рекомендации МСЭ-R S.1716 типичная готовность для линий вниз телеметрии в диапазоне 14/12 ГГц составляет порядка 99,99%, что означает 0,01% неготовности. В случае типовой системы на ВЭО неготовность, причиняемая приостановкой телеметрии, составляет 3,1% ((22 мин. × 2)/24 час. × 100), в дополнение к неготовности, вызванной затуханием из-за дождя и т. д., которая в 300 раз превышает типичное значение, рекомендуемое в Рекомендации МСЭ-R S.1716.

4.2.2 Расширенный спектр для телеметрии: В принципе было бы возможным уменьшить показатели э.п.п.м.↓ путем добавления модуляции с расширением спектра для несущих телеметрии систем на ВЭО. С учетом типовых результатов, показанных на рисунке 4, потребовалось бы расширение примерно на 20 дБ для полного соответствия маске пределов в худшем случае, что потребовало бы около 4 МГц полосы пропускания на каждую несущую телеметрии. Альтернативная возможность могла бы заключаться в том, чтобы добавить расширение точно в рамках присвоенной полосы пропускания несущей; в настоящем примере эта величина составляет 605 кГц, что дало бы возможность расширения примерно на 12 дБ.

4.2.2.1 Реализация

- Данный метод ослабления помех мог бы быть реализован путем добавления модулятора с расширением спектра (РС) для земных станций ТТ&С и демодулятора РС для каждого спутника на ВЭО.
- Для эффективного применения метода модуляции РС требуется, чтобы модуляция РС применялась только в периоды, для которых в ином случае уровни э.п.п.м.↓ были бы критическими. Когда спутник на ВЭО приближается к критическому периоду на своей орбите, земная станция ТТ&С направляла бы команды для включения модуляции РС, а когда спутник выходит из критического периода, станция ТТ&С посылала бы команды переключиться на обычную модуляцию. При такой операции по переключению потребовалось бы только расширить полосу пропускания модуляции РС в пределах полосы, используемой для служебных линий, в те периоды времени, когда спутник находится вне активной дуги. Такое расширение полосы РС дает возможность уменьшить э.п.п.м.↓. В случае типовой системы на ВЭО можно было бы достичь уменьшения э.п.п.м.↓ на 20 дБ, используя полосу пропускания в 4 МГц.

4.2.2.2 Преимущества

- При изложенном выше методе расширения полосы на основе РС эффективно использовалась бы полоса пропускания для служебных линий вниз, которая обычно не используется за пределами активной дуги, и данный метод мог бы обеспечить соблюдение масок э.п.п.м.↓ без дополнительного ослабления помех.

4.2.2.3 Недостатки

- Хотя использование модуляции РС для ТТ&С не является новым методом, в настоящее время он распространен не очень широко. В связи с этим внедрение такого метода потребовало бы разработки нового оборудования РС для спутников на ВЭО и земных станций ТТ&С.

4.2.3 Передающая антенна с высоким усилением для телеметрии: В типовой системе на ВЭО передача каждой несущей телеметрии обеспечивалась бы посредством широкого луча антенны спутника (ширина луча 30°). Если передача служебных линий вниз такой системы обеспечивалась бы посредством луча с большим усилением (например, ширина луча 6°), то можно было бы рассмотреть возможность перевода передачи сигналов телеметрии на этот луч, обеспечивая таким образом, чтобы превышение пределов э.п.п.м.↓ затрагивало меньшую географическую область. Для типовой системы это было бы практически возможно только если обе земные станции ТТ&С были бы охвачены лучом

(или лучами) с большим усилением. Однако это требует контроля за лучом с высоким усилением даже за пределами активной дуги, что может усложнить техническое проектирование спутников.

4.2.3.1 Реализация

- Данный метод ослабления помех мог бы быть реализован путем установки на каждом спутнике ВЭО передающих антенн с высоким усилением с управляемым лучом. Такие бортовые антенны использовались бы для передачи служебных линий вниз на участках активной дуги орбиты ВЭО. Эти антенны использовались бы для передач линий вниз телеметрии в течение критических периодов, и в это время они постоянно отслеживали бы земные станции ТТ&С.

4.2.3.2 Преимущества

- Любое превышение пределов э.п.п.м.↓ для ТТ&С относилось бы к меньшей географической зоне, что уменьшило бы количество потенциально затрагиваемых земных станций ГСО.
- Для земных станций ТТ&С не требуется никакое дополнительное оборудование.
- Мощность передачи спутника будет уменьшена ввиду более высокого усиления передающей антенны, что привело бы к сокращению энергопотребления на борту.

4.2.3.3 Недостатки

- Спутниковая передающая антенна с высоким усилением должна быть антенной с большой апертурой с функцией высокоточного отслеживания, способной охватывать достаточно широкий управляемый угол.
- Даже если конструкция спутника на ВЭО уже включает луч с высоким усилением для служебных линий вниз, этот метод требует, такой луч с высоким усилением контролирования даже за пределами активной дуги, что может усложнить техническое проектирование спутников.

4.2.4 Использование полос СКЭ для телеметрии: Если при передачах ТТ&С упомянутой выше системы на ВЭО использовались бы полосы частот, распределенные СКЭ вместо вышеуказанных полос частот, то проблема несоответствия Статье 22 РР была бы снята. Хотя этим была бы снята проблема, касающаяся пределов э.п.п.м., указанных в Статье 22 РР, поскольку они не применяются в полосах СКЭ, физическое явление помех в полосе СКЭ сохранилось бы.

4.2.4.1 Реализация

- Данный метод ослабления помех мог бы быть реализован путем установки независимого РЧ оборудования (антенны, усилителя большой мощности/твердотельного усилителя большой мощности НРА/SSPA, МШУ, преобразователя и т. д.) для систем телеметрии (на спутниках и земных станциях) с использованием полосы частот, отличной от полос служебных линий.

4.2.4.2 Преимущества

- Операции на линиях вниз ТТ&С систем ВЭО не были бы ограничены пределами э.п.п.м., указанными в Статье 22 РР.
- Учитывая, что полосы СКЭ распределены в диапазоне S или полосах более низких частот, было бы легче поддерживать достаточный запас для линии ТТ&С.

4.2.4.3 Недостатки

- Поскольку каждая распределенная СКЭ полоса пропускания уже, чем полосы, к которым применяются пределы э.п.п.м., совместное использование этих полос частот с другими системами может быть затруднительным.
- При операциях спутника и земной станции ТТ&С нельзя было бы совместно использовать РЧ оборудование, применяемое для служебных линий.

4.2.5 Выбор частот для телеметрии: Учитывая, что линии вниз ТТ&С для каждой спутниковой системы занимают только несколько МГц полосы пропускания, масштаб проблемы был бы уменьшен, если бы несущие сигналы телеметрии всех систем НГСО могли бы быть размещены в той же полосе частот в несколько МГц.

4.2.5.1 Реализация

- Насколько это возможно, выбранные для телеметрии частоты должны находиться за пределами полос пропускания ретранслятора и полос пропускания частот ТТ&С спутников ГСО, находящихся вблизи от долгот пересечения экватора системами на ВЭО.

4.2.5.2 Преимущества

- Этот вариант эффективен в отношении систем ГСО, которые имеются, когда система на ВЭО зарегистрирована.

4.2.5.3 Недостатки

- Учитывая, что системы на ВЭО являются системами НГСО, согласно действующему РР не допускается применять этот метод для решения проблемы в полосах, в которых применяются пределы э.п.п.м.↓, указанные в Статье 22 РР. В связи с этим в таких полосах этот метод мог бы только ограничить масштаб проблемы. Действующим РР не допускается, чтобы для линий вниз ТТ&С систем на ВЭО превышались пределы э.п.п.м.↓, установленные в Статье 22 РР, с возможным исключением, которое допускается согласно пп. 22.5СА: "**22.5СА 2) Пределы, приведенные в таблицах 22-1А–22-1Е, могут быть превышены на территории любой страны, администрация которой дала на это согласие (см. также Резолюцию 140 (ВКР-03))**". Однако с учетом того, что для линии вниз ТТ&С типичной системы на ВЭО используется общий луч, следует отметить, что общее количество стран, от которых требуется согласие, может быть очень большим.
- ИФИК может не содержать полной информации о частотах телеметрии, используемых потенциально затрагиваемыми сетями ГСО.

4.2.6 Межспутниковые линии: Если межспутниковые линии реализуются между спутниками в системе на ВЭО или между такими спутниками и сетью спутников-ретрансляторов данных, то сигналы телеметрии могут передаваться через межспутниковую линию на спутник ВЭО, находящийся в активной дуге или вблизи от нее, либо на спутник-ретранслятор данных, а с него на Землю.

4.2.6.1 Реализация

- Данный метод мог бы быть реализован с помощью установки на каждом спутнике дополнительного оборудования для межспутниковых линий ТТ&С.

4.2.6.2 Преимущества

- Была бы возможной передача телеметрии со всех спутников в любое время на земные станции ТТ&С, действующие на первичной основе, при отсутствии потенциальных помех со стороны линии вниз, создаваемых сетям ГСО.
- Минимальное воздействие на земные станции ТТ&С; отсутствие необходимости в удаленных земных станциях ТТ&С.

4.2.6.3 Недостатки

- Спутники придется оснастить дополнительным оборудованием для межспутниковой линии, а также для управления обнаружения и слежением, осуществляемыми антенной межспутниковой линии.
- Для спутников был бы необходим метод резервирования ТТ&С в случае отказа межспутниковой линии.
- Данный метод может создавать дополнительные проблемы при проектировании, поскольку потребовалась бы, чтобы система на ВЭО не создавала потенциальных помех сетям ГСО, которые могли бы быть обусловлены геометрией межспутниковой линии системы на ВЭО.

В п. 22.5СА РР, принятом ВКР-2000 и измененном ВКР-03, отмечается: "Пределы (э.п.п.м.↓), приведенные в таблицах 22-1А–22-1Е, могут быть превышены на территории любой страны, администрация которой дала на это согласие". Это положение обеспечивает возможность решения

связанной с линиями вниз проблемы посредством заблаговременного достижения согласия между администрациями, которые желают эксплуатировать несущие сигналы телеметрии со спутников ВЭО в полосах ФСС при условии соблюдения пределов э.п.п.м.↓, и администрацией каждой из стран, территория которой охватывается лучом, по которому должны передаваться несущие телеметрии. Однако эта процедура могла бы потребовать длительного времени (для того чтобы заинтересованные администрации пришли к соглашению). В связи с этим было бы предпочтительно рассмотреть сначала указанные выше возможности.

Кроме того, в соответствии с положением п. 22.5СА РР в ходе любого двустороннего заседания указанные выше возможности могли бы быть приняты во внимание по усмотрению заинтересованных сторон.

5 Заключение

Приведенные выше соображения показывают, что имеются несколько возможностей решения проблем эксплуатации линий ТТ&С в системах на ВЭО, работающих в полосах, к которым применяются пределы э.п.п.м., указанные в Статье 22 РР, при обеспечении при этом надлежащей защиты систем ГСО, работающих в этих полосах. Отмечается, что такие методы были бы также полезны в отношении других полос ФСС, используемых совместно сетями НГСО и ГСО. Потребуется дальнейшее исследование для определения того, какие из этих потенциальных методов ослабления помех более всего подошли бы для любой конкретной системы на ВЭО.

Дополнение 1 к Приложению 1

Методика определения минимальных периодов отключения несущей сигналы телеметрии спутника на ВЭО для обеспечения соответствия пределам э.п.п.м.↓, указанным в Статье 22 РР

Ниже приводится описание метода итерации, который может быть использован для определения точного времени/широт орбиты, при которых отключается (и включается) несущая телеметрии конкретного спутника на ВЭО, с тем чтобы обеспечить соблюдение соответствующего предела э.п.п.м.↓.

Как объясняется в п. 4.2.1 Приложения 1, любого превышения в отношении маски пределов э.п.п.м.↓, указанных в Статье 22 РР, для антенны земной станции ГСО заданного размера в конкретной полосе частот можно избежать путем отключения каждой несущей сигналы телеметрии в течение периода, приближенного к каждому моменту, когда соответствующий спутник пересекает плоскость экватора. Минимальная продолжительность периода и точное время отключения и включения для простого соблюдения соответствующей маски э.п.п.м.↓ будет зависеть от характеристик орбиты системы на ВЭО и характеристик передачи его несущих телеметрии.

Предполагая, что, поскольку для типовой системы, описанной в п. 2 Приложения 1 (N-SAT-NEO2), каждый спутник на ВЭО в системе имеет собственную частоту несущей сигналы телеметрии (в ином же случае все несущие телеметрии имеют идентичные параметры передачи), необходимо определить только продолжительность минимального периода отключения для одного спутника. Этот период будет таким же для каждого другого спутника в системе, а точное время отключения и включения будет отличаться только по интервалам, предопределенным характеристиками орбиты и количеством спутников, которые следуют по той же трассе орбиты.

Взяв в качестве примера N-SAT-HEO2, с помощью компьютерного моделирования можно создать модель сценария наихудшего случая помехи, как это показано на рисунке 3 в Приложении, и использовать ее для расчета уровня э.п.п.м.↓ в эталонной антенне земной станции ГСО (например, диаметром 1,2 м) для наихудшего случая местоположения, которая работает в направлении спутника ГСО на долготе для наихудшего случая. (Как объясняется в Приложении, для N-SAT-HEO2 двумя ситуациями наихудшего случая являются следующие: как спутник на ГСО, так и его эталонная земная станция находятся на широте 0° , и долгота соответствует долготе пересечения экватора системой на ВЭО, – либо $123,7^\circ$ в. д., либо $146,3^\circ$ в. д.) Такое моделирование прогоняется для одного полного орбитального периода ($86\,163\text{ с} = 1$ звездные сутки) при значении э.п.п.м.↓, рассчитанном для каждого временного шага (для данного примера достаточно точными являются временные шаги по 10 с). Затем на основе полученных результатов составляется график в форме интегральной функции распределения (ИФР) процента времени по отношению к э.п.п.м.↓. В настоящем случае это – кривая для линии D, приведенная на рисунке 4 Приложения.

Отмечая, что пересечение экватора на $123,7^\circ$ в. д. имеет место, когда спутник (начиная с перигея) находится примерно в трех четвертях пути вокруг своей орбиты в течение 23 час. 56 мин., указанное выше моделирование можно прогнать повторно с использованием широкого временного шага примерно до 17 час. на орбите. Начиная с этой точки, моделирование может затем осуществляться пошаговым образом с использованием небольшого временного шага до того момента, как уровень э.п.п.м.↓ достигнет величины, при которой кривая линии D пересекает маску, указанную в Статье 22 (например, около -179 дБВт/м^2 на 40 кГц, как в данном примере). Можно отметить время, когда происходит такое "пересечение маски". Затем моделирование может продолжиться с использованием небольшого временного шага до того момента, как уровень э.п.п.м.↓ достигнет пика, когда спутник находится непосредственно над экватором и затем вновь возвращается к "значению пересечения маски" на линии D, и это время отмечается. Затем моделирование может быть остановлено, и модель изменяется с целью эффективного отключения несущей телеметрии между двумя отмеченными моментами времени. (В процессе моделирования отключение несущей телеметрии может моделироваться путем установки значения э.и.и.м. на пренебрежимо малую величину для интервалов между двумя моментами времени.) Затем моделирование может прогоняться в измененной таким образом форме, а результаты преобразовываться в новую ИФР. Будет обнаружено, что данное значение ИФР на всех точках существенно меньше маски, указанной в Статье 22 РР. (См. кривую (с) на рисунке 5.)

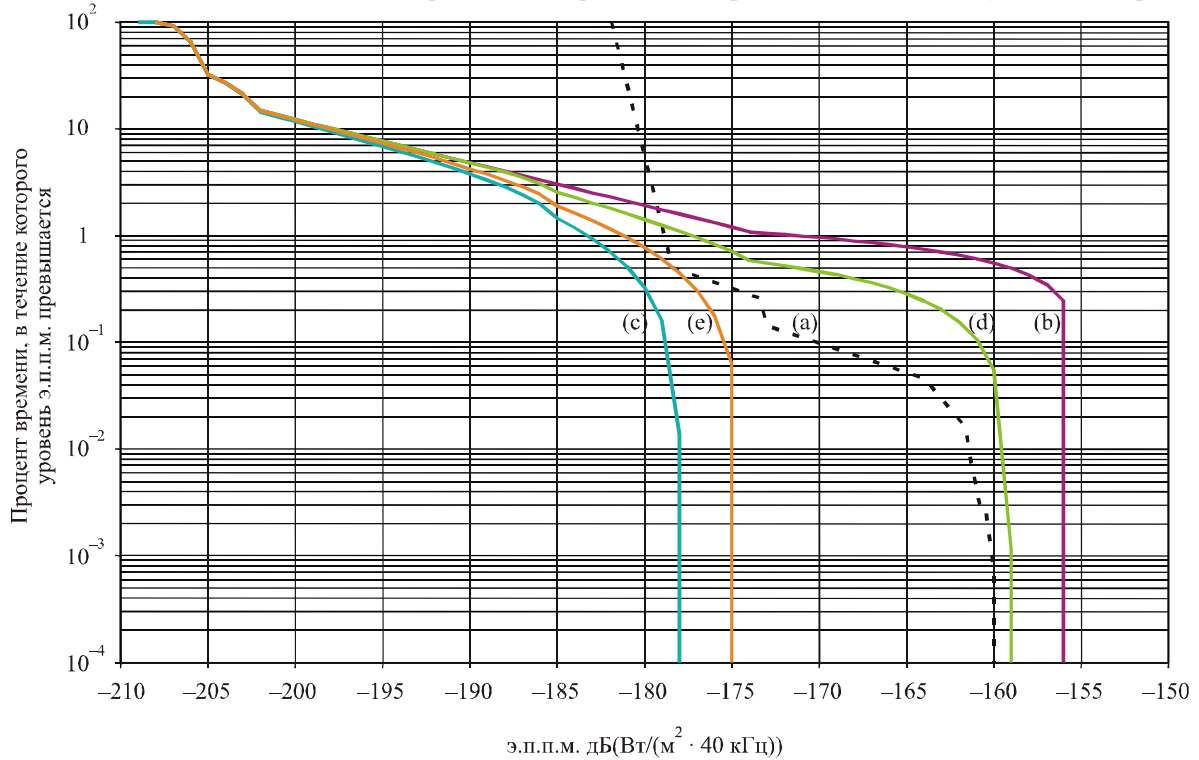
Затем модель может быть далее изменена для сокращения периода отключения до примерно одной трети периода, указанного в предыдущих пунктах, но примерно с тем же временным центром, и моделирование вновь будет проделано с целью получения соответствующих значений ИФР. Весьма вероятно, что данное значение ИФР будет превышать маску, указанную в Статье 22 РР, для значительных интервалов э.п.п.м. (См. кривую (d) на рисунке 5.)

Результаты, описанные в предыдущих двух пунктах, позволят осуществить аппроксимацию времени отключения и включения для составления ИФР, просто соответствующей маске, указанной в Статье 22 РР, которая будет оцениваться путем выбора моментов времени, находящихся между моментами времени, полученными на основе кривых (с) и (d). Затем может быть осуществлен последующий прогон с использованием этих моментов времени. Если получающаяся в результате ИФР все еще не является оптимальной, для получения достаточно точных результатов следовало бы провести дальнейшую итерацию этого процесса.

Указанные выше этапы были выполнены для N-SAT-HEO2 и антенн земной станции ГСО диаметром 1,2 м для несущей телеметрии на 12,25 ГГц. Полученные ИФР показаны на рисунке 5, где кривая (b) та же самая, что и кривая для линии D на рисунке 4 (т. е. геометрия наихудшего случая без отключения несущей телеметрии). Можно увидеть, что кривая (e) является оптимальной кривой, поскольку она лишь просто остается в маске пределов э.п.п.м.↓. Хотя в этом случае потребовалось всего три итерации для составления оптимальной кривой, вряд ли для любого другого случая на практике потребовалось бы более четырех или максимум пяти итераций. Таким образом, принимая во внимание обе точки пересечения экватора, периоды отключения для настоящего примера были бы такими, как это показано в таблице 1.

РИСУНОК 5

Данные э.п.п.м.↓ для антенны диаметром 1,2 м для различных периодов отключения несущей телеметрии



- - - (a) Пределы э.п.п.м. для антенны ГСО диаметром 1,2 м, указанные в Статье 22 PP
- (b) Без отключения
- (c) Отключение на периоды 18 090–19 380 с и 66 650–67 940 с
- (d) Отключение на периоды 18 570–19 000 с и 67 130–67 560 с
- (e) Отключение на периоды 18 290–19 280 с и 66 850–67 840 с

1759-05

ТАБЛИЦА 1

Периоды отключения для обеспечения того, чтобы несущие телеметрии типовой системы на ВЭО просто соответствовали пределам э.п.п.м.↓ для антенны земной станции ГСО диаметром 1,2 м в полосе 12–18 ГГц (диапазон Ku)

Спутник	Время перигея (с)	Время первого отключения (с)	Время первого включения (с)	Время второго отключения (с)	Время второго включения (с)
1	0	18 290	19 280	66 850	67 840
2	28 680	9 370	10 360	47 000	47 990
3	57 490	38 180	39 170	75 810	76 800

На основе таблицы 1 можно отметить, что в каждом из трех спутников в типовой системе на ВЭО необходимо произвести отключение на одинаковый период времени вблизи от двух точек на каждой орбите пересечения ими плоскости экватора, с тем чтобы обеспечить соответствие маске пределов э.п.п.м. Каждый период отключения равен $990 \text{ с} = 16,5 \text{ мин.}$, соответствующих 1,15% орбитального периода (одни звездные сутки). Если учитывать оба периода отключения на каждую орбиту, то в результате получится общий "перерыв в использовании телеметрии", соответствующий 2,30% орбиты каждого спутника. Каждый период отключения имеет место, когда соответствующий спутник находится в пределах интервалов широты приблизительно в $\pm 1,487^\circ$.

Для каждой последующей орбиты время отключения и включения было бы получено путем простого добавления 86 163 с (звездные сутки).