

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1143-3*

Системоспецифический метод координации негеостационарных космических станций (космос-Земля) подвижной спутниковой службы и станций фиксированной службы

(Вопросы МСЭ-R 201/8 и 118/9)

(1995-1997-2003-2005)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описываются методики и характеристики эталонной фиксированной системы, реализующие системоспецифический метод (SSM) Приложения 5 Регламента радиосвязи, позволяющий провести подробную оценку необходимости координации частотных присвоений для негеостационарных (НГСО) космических станций (космос-Земля) и приемных систем фиксированной службы (ФС). В Рекомендации также описывается возможная методика двусторонней координации передающих космических станций НГСО подвижной спутниковой службы (ПСС) и станций ФС.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что определенные частотные присвоения ПСС для линий космос-Земля совместно используются на первичной основе с фиксированной службой в диапазоне 1–3 ГГц;
- b) что системы ПСС негеостационарной спутниковой орбиты (НГСО) имеют индивидуально уникальные системные характеристики, особенно касающиеся орбитальных параметров, характеристик передачи, высоты и угла места;
- c) что рассмотрение характеристик, упомянутых в пункте b) раздела *учитывая*, может помочь в обеспечении совместного использования с ФС, когда превышаются пороги, установленные в Регламенте радиосвязи (РР);
- d) что существуют аналитические методы, помеховые критерии и характеристики системы, описывающие системы ФС в совместно используемых полосах,

рекомендует,

- 1** чтобы при превышении порогов, установленных в Приложении 5 Регламента радиосвязи, для оценки необходимости координации сетей ПСС НГСО (космос-Земля) с присвоениями ФС в полосах частот 1518–1525 МГц, 1525–1530 МГц, 2160–2170 МГц, 2170–2200 МГц, 2483,5–2500 МГц и 2500–2535 МГц использовалась специфическая для системы методика, описанная в Приложении 1;
- 2** чтобы при детальной координации для оценки уровня помех, воздействующих на линии ФС, могла использоваться методика, приведенная в Приложении 3.

* Пересмотр настоящей Рекомендации был подготовлен совместно 8-й и 9-й Исследовательскими комиссиями по радиосвязи, и в дальнейшем любые пересмотры будут также выполняться совместно.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1*

Системоспецифический метод, который необходимо использовать в стандартной вычислительной программе (СВП) при определении необходимости координации систем ПСС НГСО и фиксированной службы в выделенных ПСС полосах для линий космос-Земля**1 Введение**

Считается, что существующие или планируемые наземные сети ФС, принадлежащие различным администрациям, могут быть поражены излучениями от космических станций ПСС НГСО, если превышены соответствующие пороговые критерии координации для аналоговых и/или цифровых систем ФС, установленные в Приложении 5 РР.

Необходима разработка СВП, пригодной для использования при детальной оценке необходимости координации частотных присвоений передающим космическим станциям ПСС НГСО одной группировки (единственная помеха) с частотными присвоениями приемным станциям сети ФС потенциально поражаемой администрации. СВП учитывает специфические характеристики систем ПСС НГСО и эталонные характеристики ФС. Далее в Приложении, если говорится о характеристиках ФС, то имеются в виду эталонные характеристики. Используемые специфические эталонные системы ФС, приведенные в Приложении 2, должны соответствовать типу систем ФС, фактически используемых рассматриваемой администрацией.

В СВП в качестве исходных данных требуются характеристики эталонных систем ФС, а также спутниковых систем ПСС НГСО, описанных в п. 2.

С помощью СВП рассчитывается на основе вышеупомянутых данных в соответствии с описанной в п. 3 методикой соответствующая статистика помех, создаваемых группировкой ПСС НГСО заданной эталонной системе ФС.

Если применяемый критерий максимальной помехи, приведенный в п. 4, не превышен, то (если от администрации, ответственной за системы ФС, не будет последующего уведомления об обратном) координация может не понадобиться.

2 Необходимые данные по ФС и ПСС**2.1 Расположение станции ФС и определение наихудшего азимута наведения ФС**

Для конкретной администрации СВП выполняется для подходящей выборки значений широты (например, каждые 5°), перекрывая весь диапазон широт на территории администрации. Для выбранной группировки ПСС НГСО и подвергаемой воздействию станции ФС, расположенной на заданной широте, можно определить наихудшее азимутальное направление наведения станции ФС в смысле максимального потенциала принимаемой помехи от НГСО группировки. Таким образом программа СВП выполняется для наихудшего азимутального направления наведения главной линии ФС.

Формулы для расчета наихудшего азимута приведены в п. 5 Дополнения 3 к Приложению 1 Рекомендации МСЭ-R S.1257.

* Стандартная вычислительная программа нуждается в дальнейшей доработке при совместном участии экспертов 8-й и 9-й Исследовательских комиссий по радиосвязи. Методика настоящего Приложения также может потребовать обновления с учетом результатов этой доработки.

2.2 Данные по аналоговой системе ФС

Предполагается, что на трассе с центром на заданной широте располагается $M = 13$ аналоговых станций с совмещенной частотой, и главное направление соответствует наихудшему азимуту для заданной группировки ПСС НГСО. Трасса перекрывает расстояние $D = 600$ км, станции расположены точно на расстоянии $d = 50$ км одна от другой. Азимутальный угол для каждой станции задается наихудшим азимутальным углом главного направления и переменным углом, равномерно распределенным в пределах $V = \pm 12,5^\circ$. Считается, что каждая станция имеет антенну с большим усилением, направленную на следующую станцию под углом места, равным 0° . Усиление антенны станции ФС типа "пункт-пункт" соответствует диаграмме антенны с усредненными уровнями боковых лепестков, приведенной в Рекомендации МСЭ-R F.1245.

Характеристики эталонной аналоговой системы ФС берутся из Дополнения 2 к Приложению 2 или, если таковые имеются, из данных ФС, переданных администрацией в Бюро радиосвязи (БР) и занесенных в базу данных БР.

2.3 Данные по цифровой системе ФС

Вместо данных по всей трассе для анализа необходимы данные только об одном цифровом приемнике ФС. Станция ФС расположена на заданной широте и наведена в направлении наихудшего азимута. Считается, что в станции ФС используется антенна с углом места, равным 0° . Усиление антенны станции ФС соответствует диаграмме антенны с усредненными боковыми лепестками, приведенной в Рекомендации МСЭ-R F.1245.

Характеристики эталонной цифровой системы ФС берутся из Дополнения 1 к Приложению 2 или, если таковые имеются, из данных ФС, переданных администрацией в БР и занесенных в базу данных БР.

2.4 Данные по ПСС НГСО

Чтобы охарактеризовать сети ПСС НГСО необходима полная информация по следующим параметрам:

- центральная частота;
- число точечных лучей;
- максимальная мощность одного спутника;
- характеристики точечного луча.

Подробный перечень параметров приведен в Дополнении 1 к Приложению 1.

Необходима полная информация о максимальной плотности э.и.и.м. в полосах, равных 4 кГц и 1 МГц, в каждом активном луче каждого спутника, у которого частоты несущих могут перекрываться с частотами рассматриваемого приемника ФС во всех отсчетных точках в течение времени, когда этот спутник видим со стороны системы ФС. Эта информация должна точно отражать внутриспутниковые и межспутниковые планы повторного использования частот, а также загрузку трафиком точечных лучей спутника, учитывая ожидаемое географическое распределение трафика системы ПСС.

В общем случае, если в группировке ПСС НГСО применяются методы многостанционного доступа с кодовым и частотным разделением каналов (МДКР/МДЧР), то потенциально все лучи всех видимых спутников могут работать с совмещением частот. Однако, если в группировке ПСС НГСО будет применяться метод многостанционного доступа на основе временного и частотного разделения (МДВР/МДЧР) или МДЧР, то только часть лучей видимых спутников может работать с совмещением частот.

В Части 1 Дополнения 2 к Приложению 1 дается базовая методика по умолчанию для моделирования нагрузки спутникового точечного луча. В Части 2 Дополнения 2 к Приложению 1 дается подробная методика моделирования нагрузки спутникового точечного луча для систем МДКР и МДВР в случаях, когда известны необходимые данные о трафике системы ПСС. Поскольку для этой системы необходимы данные по планам трафика ПСС, то применение методики Части 2 Дополнения 2 к Приложению 1, как правило, потребует консультаций с заинтересованными администрациями.

Для всех типов систем ПСС НГСО (МДВР, МДЧР или МДКР) при расчете суммарной помехи для подвергаемой воздействию станции ФС должны учитываться все видимые спутники группировки, но трафик должен быть распределен между ними.

3 Методика расчета помех

Программа СВП имитирует помехи сети ФС от спутниковой(ых) НГСО группировки(ок) следующим образом.

3.1 Порядок вычисления

Программа рассчитывает положение и векторы скорости НГСО спутников спутниковой системы и станций системы ФС в каждый момент времени.

В каждый отсчет времени с помощью СВП рассчитывается общая мощность помехи для каждой станции ФС, подвергающейся воздействию от всех активных лучей всех видимых и надлежащим образом выбранных спутников ПСС. Если полоса частот приемника ФС не полностью перекрывается сигналом ПСС, тогда мощность помехи масштабируется с учетом коэффициента перекрытия. В случае аналогового сигнала мощность помехи масштабируется к полосе 4 кГц.

Суммарная мощность помехи от всех активных точечных лучей всех спутников, видимых станции(ям) ФС, определяется с использованием следующего выражения:

$$I = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S \frac{E_{jk}}{L_{ik}} G^3(\alpha_{ijk}) G^4(\theta_{ik}) \frac{B_w}{B_{ij}} \frac{1}{F_k} \frac{1}{P_{ijk} A}, \quad (1)$$

где:

- I : мощность помехи (Вт)
- i : один из N спутников, участвующих в расчете помех для k -й станции ФС
- j : один из S активных точечных лучей выбранного видимого спутника ПСС с частотой, перекрывающейся с частотой данного приемника станции ФС, с учетом повторного использования частоты точечного луча спутника
- k : одна из M станций ФС трассы ФС
- E_{jk} : максимальная плотность э.и.и.м. в эталонной полосе на входе антенны для j -го активного точечного луча в направлении его максимума от i -го выбранного видимого спутника (Вт/эталонная полоса)
- B_{ij} : эталонная полоса для мешающего сигнала от j -го активного точечного луча i -го выбранного видимого спутника (кГц)
- $G^3(\alpha_{ijk})$: дискриминация антенны j -го активного точечного луча i -го выбранного видимого спутника в направлении k -й станции ФС
- α_{ijk} : угол между вектором наведения максимума j -го активного точечного луча i -го выбранного видимого спутника и направлением на k -ую станцию ФС (градусы)
- L_{ik} : потери в свободном пространстве на заданной эталонной частоте от i -го выбранного видимого спутника до k -й станции ФС
- $G^4(\theta_{ik})$: усиление антенны k -й станции ФС в направлении i -го выбранного видимого спутника
- θ_{ik} : угол между вектором наведения антенны k -й станции и вектором расстояния от k -й станции до i -го выбранного видимого спутника (градусы)
- B_w : полоса приемника подверженной воздействию станции ФС (4 кГц или 1 МГц)

- A : коэффициент усреднения, учитывающий изменение частоты несущей ПСС, мощности или времени
- F_k : потери в фидере k -станции ФС
- P_{ijk} : коэффициент поляризационного выигрыша между j -м точечным лучом i -го спутника ПСС и k -й станцией ФС.

Коэффициент усреднения A может изменяться для отражения динамических изменений частоты, времени или мощности от уровня трафика ПСС в заданной эталонной полосе (например, при использовании управления речью, наличии пауз, управлении мощностью и т. д., которые имеют место к рассматриваемой системе ПСС НГСО). По данному вопросу необходимо проведение дальнейших исследований.

Поляризационный выигрыш P_{ijk} должен использоваться только в тех случаях, если i -й спутник ПСС находится в пределах ширины луча по уровню 3 дБ k -й станции ФС, а k -я станция ФС находится в пределах ширины луча по уровню 3 дБ j -го точечного луча i -го спутника ПСС. P_{ijk} можно рассчитать по формуле из Примечания 7 Рекомендации МСЭ-R F.1245.

Ускорение времени моделирования может быть достигнуто исключением из расчета уровня помех тех лучей, для которых α_{ijk} оказывается больше заданного угла "исключения".

3.2 Длительность и число шагов расчета

С одной стороны, время работы программы должно быть минимально возможным, чтобы пользователю не пришлось долго ждать результатов, а с другой – необходимо иметь достаточное количество выборок с надлежащими временными интервалами для получения точных результатов, учитывая все помехи, принимаемые приемниками фиксированной станции.

3.2.1 Временной шаг

Используется следующая формула, подробный вывод которой приводится в Дополнении 3 к Приложению 1. Так как скорость спутника почти одинаковая на экваторе и на высоких широтах, то расчет временного шага Δt при моделировании делается для спутника на экваторе с учетом вращения Земли, наклона орбиты спутника и угла места антенны станции ФС. Наихудший азимут для показателя частичного ухудшения качества (FDP) или азимут горизонтального движения при расчете Δt не используется.

$$\omega = \sqrt{(\omega_s \cos I - \omega_e)^2 + (\omega_s \sin I)^2}$$

$$\theta_\varepsilon = \arccos\left(\frac{R}{R+h} \cos \varepsilon\right) - \varepsilon$$

$$\Delta t = \frac{\Phi_{3\text{дБ}}}{N_{\text{hits}}} \frac{\sin \theta_\varepsilon}{\omega \cos \varepsilon},$$

где:

- ω : угловая скорость спутника в фиксированных координатах Земли (геоцентрическая геосинхронная эталонная система координат)
- ω_s : угловая скорость спутника в фиксированных космических координатах (геоцентрическая гелиосинхронная эталонная система координат)
- ω_e : угловая скорость вращения Земли на экваторе
- I : наклонение спутниковой орбиты
- θ_ε : геоцентрический угол между станцией ФС и спутником

- R : радиус Земли
 h : высота орбиты спутника
 ε : угол места антенны ФС
 $\Phi_{3дБ}$: ширина луча антенны ФС по уровню 3 дБ
 N_{hits} : число попаданий в пределы ширины луча станции ФС по уровню 3 дБ ($N_{hits} = 5$)
 Δt : временной шаг моделирования.

3.2.2 Скорость прецессии и общее время моделирования

Подспутниковая точка спутника ПСС, движущегося по круговой орбите, во времени вычерчивает линию на поверхности Земли. После нескольких полных оборотов эта линия возвращается в ту же или почти ту же точку поверхности. Время, в течение которого произошло это событие, называется периодом повторения спутника. В этих случаях время между этими событиями называется периодом повторения группировки.

Некоторые группировки имеют короткие периоды повторения, равные нескольким дням (обычно менее одной недели), а другие – очень длинные периоды (несколько месяцев). Такая большая разница требует дальнейшего рассмотрения, так как системы ФС должны удовлетворять требованиям к характеристикам в любом месяце. Представлено два способа устранения этих расхождений.

Для группировок с периодом повторения менее одной недели решение заключается в использовании этого периода в качестве общего времени моделирования и выполнении программы для нескольких значений прямого восхождения орбиты (начальное положение узла восхождения орбитальной плоскости под номером 1) в диапазоне от долготы 0° до долготы, равной угловому расстоянию между двумя соседними орбитальными плоскостями. Это обеспечит выявление наихудшей ситуации с точки зрения ФС. Для определения величины дискретного шага по долготе, связанного с числом временных дискретных шагов, в течение которых спутник находится в пределах главного луча станции ФС (см. п. 3.2.1), требуется продолжение исследований.

Для группировок с очень большим периодом повторения его использование в качестве общего времени моделирования может привести, соответственно, к очень большому времени работы центрального процессора. Кроме того, трассы на поверхности Земли были бы распределены равномерно, а разрешающая способность по долготе (расстояние по долготе между двумя соседними трассами) – без необходимости мала. В таких случаях следует использовать искусственное увеличение скорости прецессии, которое позволит получить разрешающую способность по долготе, соизмеримую с шагом по долготе, установленным в предыдущем случае. Искусственное увеличение скорости прецессии дает искусственный период созвездия, который значительно короче реального, и сокращение времени работы процессора. Необходимо, однако, провести оценку результатов моделирования для нескольких месячных периодов в пределах цикла повторения, чтобы определить устойчивость показателя FDP от месяца к месяцу.

4 Применяемые помеховые критерии

4.1 Аналоговые ФС

С помощью СВП рассчитывается статистика помех, основанная на суммарной мощности помех, создаваемых всеми станциями, и она вычисляется в каждой точке выборки. Статистика помех определяется вероятностью того, что суммарная принятая мощность помех превышает заданный уровень.

Для этой цели может использоваться моделирование, описанное в Приложении 2 Рекомендации МСЭ-R F.1108, частично основанное на Рекомендации МСЭ-R SF.766, со следующими параметрами:

N_i : психофотметрически взвешенная относительно точки нулевого уровня (пВт0п) тепловая мощность шума в полосе телефонного канала, равной 4 кГц, станции = 25 пВт

T : шумовая температура приемной системы станции (К)

L_f : потери в фидере (дБ).

Чтобы оценить необходимость координации, распределение мощности помех сравнивается с двухточечным шаблоном норм на помехи, состоящим из долговременной и кратковременной норм, приведенных в Рекомендации МСЭ-R SF.357.

4.2 Цифровые системы ФС

Для случая цифровых ФС с помощью СВП рассчитывается показатель FDP для цифровой станции в соответствии с Приложением 3 Рекомендации МСЭ-R F.1108:

$$FDP = \sum_{I_i = \min}^{\max} \frac{I_i f_i}{N_T}, \quad (2)$$

где:

I_i : мощность помехи в полосе B_w приемника ФС

f_i : часть интервала времени, в течение которого мощность помех равна I_i

N_T : уровень мощности шума приемной системы станций

$$= k T B_w,$$

где:

k : постоянная Больцмана

T : шумовая температура приемной системы станции (К)

B_w : полоса пропускания приемника ФС (обычно показатель FDP рассчитывается в эталонной полосе 1 МГц).

Для оценки необходимости координации для цифровых систем ФС вычисленный показатель FDP сравнивается с применимым критерием, равным 25%.

Дополнение 1 к Приложению 1

Перечень параметров ПСС

- Орбитальные параметры:
 - радиус орбиты (км);
 - наклонение (градусы);
 - количество орбитальных плоскостей;
 - количество спутников в одной орбитальной плоскости;

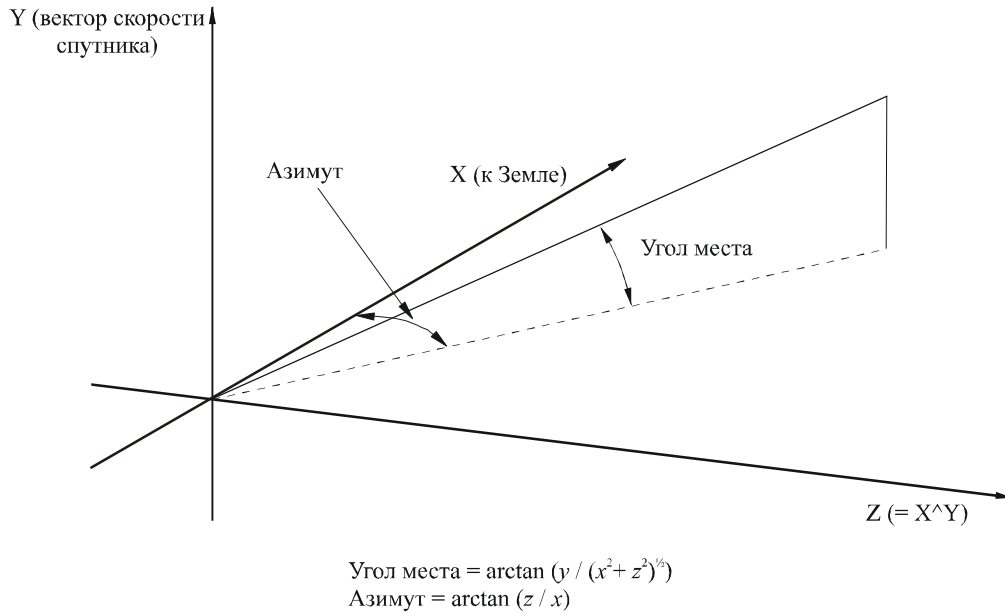
- фазировка спутников между двумя соседними плоскостями (градусы);
- долгота восходящего узла одной орбитальной плоскости в нулевой момент времени;
- угол между орбитальными плоскостями (если не задан, то плоскости распределены равномерно).

Для эллиптических орбит:

- аргумент перигея;
 - средняя аномалия;
 - среднее перемещение и эпоха.
- Количество точечных лучей
 - Максимальная мощность одного спутника (Вт)
 - Характеристики точечного луча:
 - азимут (градусы) (см. рис. 1);
 - угол места (градусы) (см. рис. 1);
 - большая ось (градусы);
 - малая ось (градусы);
 - большая ось относительно азимута (градусы);
 - максимальное усиление антенны (дБи);
 - диаграмма направленности антенны, характеризуемая, например, параболическим скатом с постоянной площадкой, или спутниковые диаграммы направленности Всемирной административной радиоконференции по использованию геостационарной спутниковой орбиты и планированию использующих ее космических служб (Женева, 1988 г.) (ВАРК Орб-88) или Всемирной административной радиоконференции по спутниковому радиовещанию (Женева, 1977 г.) (ВАРК Вещ-77), или из Рекомендации МСЭ-R S.672;
 - максимальная э.и.и.м. луча (дБВт) в полосе 4 кГц и 1 МГц;
 - максимальная ширина полосы луча (кГц);
 - средняя э.и.и.м. луча (дБВт) в полосе 4 кГц и 1 МГц;
 - средняя ширина полосы луча (кГц);
 - минимальная э.и.и.м. луча (дБВт) в полосе 4 кГц и 1 МГц;
 - минимальная ширина полосы луча (кГц);
 - поляризация;
 - центральная частота луча (МГц).

РИСУНОК 1

Эталонная система отсчета и определение углов азимута/угла места негеостационарного спутника



1143-01

Дополнение 2 к Приложению 1

Часть 1

Считается, что частота точечного луча каждого спутника попадает в полосу пропускания приемника ФС и уровень нагрузки изменяется случайным образом в пределах, определяемых средним и максимальным уровнями трафика.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Средняя трафиковая нагрузка ПСС на любой точечный луч определяется путем деления общей максимальной мгновенной емкости спутника на количество точечных лучей.

Часть 2

Главным фактором при вычислении уровня помех системам ФС от систем ПСС является э.и.и.м., приходящаяся на точечный луч спутника. Методика СВП, описанная в Приложении 1, предполагает случайный выбор уровня э.и.и.м. каждого луча в интервале между МАКСИМАЛЬНЫМ и СРЕДНИМ уровнями. Более точная оценка уровня мешающего сигнала ПС для ФС может быть сделана с учетом трафиковой нагрузки спутника.

Хотя уровень трафика одного луча меняется в соответствии с потребностями, на э.и.и.м. точечного луча будут накладываться определенные ограничения, к которым относятся:

- общая нагрузка, которую может вынести один конкретный точечный луч;
- общая нагрузка, которую может вынести один конкретный спутник.

Модели трафика должны учитывать, что уровни трафика в конкретном луче могут быть выше среднего уровня, не приводя, однако, к нереальной ситуации, когда все лучи всех спутников работают с полной нагрузкой.

Для расчета э.и.и.м. точечного луча по исходным данным используются две основных методики, учитывающие метод доступа.

Методика системы МДВР

Исходные данные определяются путем разделения поверхности Земли на ячейки равного размера по широте и долготе. Для каждой ячейки существуют параметры, используемые для расчета уровня трафика в ячейке в любой момент времени моделирования. Эти параметры должны быть получены от операторов ПСС на основе прогнозирования потребностей. Затем трафик распределяется между точечными лучами, принадлежащими нескольким видимым спутникам, с учетом общего трафика, приходящегося на один луч и один спутник.

Методика для системы МДКР

Уровень трафика в каждой стране подразделяется на: высокий, средний или низкий. Параметры трафика должны быть получены от операторов ПСС на основе прогнозирования потребностей. Для точечного луча, покрывающего каждый участок территории, выделяется соответствующая э.и.и.м., с учетом общего трафика, допустимого на один луч и один спутник.

В последующих разделах описываются этапы применения двух методик.

Этап 1: Методика определения трафика для системы МДВР

Уровни трафика определяются из двух источников:

- из файла географического трафика, заданного в виде сетки, содержащей для каждой ячейки (широта, долгота) пиковый уровень трафика и "смещение часа наибольшей нагрузки", показывающее разность между временем возникновения пиковой нагрузки в ячейке и пиком в файле годового изменения трафика;
- из файла годового изменения трафика, содержащего нормированное изменение уровня трафика по времени дня.

Исходя из того, что платформой для выполнения вычислений в соответствии с СВП является персональный компьютер, подходящий файл трафика содержит данные территориальной сетки размером ячейки, составляющим 5° широты на 5° долготы.

Уровень трафика вычисляется следующим образом:

- a) текущее время моделирования и положение станции определяют местное время. Оно дает базовый сдвиг времени, используемый совместно с файлом годового изменения трафика;
- b) файл географического трафика дает дополнительный сдвиг часа наибольшей нагрузки для конкретной ячейки;

- с) общий сдвиг времени (т. е. сумма базового сдвига и сдвига часа наибольшей нагрузки) используется для получения процентной части трафика в ячейке из файла годового изменения:
- Для файла географического трафика переменные запоминаются в виде:
 - сдвига в минутах от местного времени;
 - количества активных несущих в час наибольшей нагрузки.
 - Для файла годового изменения трафика переменные запоминаются в виде:
 - сдвига в минутах от нулевого времени;
 - процента от часа наибольшей нагрузки, который изменяется от 0 до 100.

После расчета процента трафика он умножается на максимальное количество несущих в час наибольшей нагрузки из файла трафика для данной ячейки, чтобы получить общее количество несущих в ячейке на этом заданном временном интервале (количество несущих может быть умножено на ширину полосы несущей для получения требуемой ширины полосы для данной ячейки).

На следующем шаге трафик конкретной ячейки распределяется одному или между несколькими спутниками. В системе LEO-F обычно видны от 2 до 4 спутников под разными углами места. Считается, что для каждого спутника трафик распределяется лучу, имеющему самое близкое расположение проекции луча к центру ячейки. При этом реализуются следующие два алгоритма:

- *Пропорционально углу места*
В этом случае трафик распределяется спутникам в соответствии с углами места. Следовательно, если спутники имеют углы места 30° и 60° , то спутник с высшим углом места будет иметь объем трафика в два раза больше, чем спутник с низким углом места.
- *Пропорционально углу места с первоочередной загрузкой самого высокого спутника*
Этот алгоритм смещает трафик в сторону более высоких углов места в соответствии с принципом, по которому блокирование сигнала линейно зависит от угла места, то есть вероятность отсутствия блокирования \approx углу места/ 90° .
Тогда трафик будет распределяться видимым спутникам в соответствии с принципом: первым выбирается спутник с наибольшим углом места.

Если обозначить отношение угол места/ $90^\circ = e$, то:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= e_1 && \text{для спутника 1} \\
 p_2 &= (1 - e_1) e_2 && \text{для спутника 2} \\
 p_3 &= (1 - e_1) (1 - e_2) e_3 && \text{для спутника 3 и т. д.}
 \end{aligned}$$

Доля общего трафика, выделенного спутнику n , равна:

$$T_n = p_n / \sum p_i.$$

Если после применения одного из вышеупомянутых алгоритмов часть трафика остается нераспределенной, то она распределяется другому спутнику.

Этап 2: Методика определения трафика для системы МДКР

Для каждого шага моделирования и каждого видимого станцией ФС спутника рассчитывается нагрузка трафика в каждом точечном луче, а затем вычисляется э.и.и.м.

Имеется три уровня трафика: трафик отсутствует, малый и большой трафики.

Трафик в каждом точечном луче определяется из табличных данных трафика в каждой ячейке и годовых изменений трафика.

Исходя из уровня трафика подпрограмма определяет мощность каждого луча спутника (мощность, отнесенная к общей ширине полосы МДКР):

- трафик отсутствует → $P_{точ_{мин}}$
- малый трафик → $P_{точ_{сред}}$
- большой трафик → $P_{точ_{макс}}$

Например, для системы LEO-D эти значения составят:

$$P_{точ_{макс}} = \frac{P_{спут_{макс}}}{4}$$

$$P_{точ_{сред}} = \frac{P_{спут_{макс}}}{24}$$

$$P_{точ_{мин}} \text{ мощность, необходимая для сигнализации} = 4 \times \frac{P_{точ_{макс}}}{50} = \frac{P_{спут_{макс}}}{50}$$

Затем в программе вычисляется общая передаваемая мощность спутника; если она оказывается выше максимальной передаваемой мощности $P_{спут_{макс}}$, то общая передаваемая мощность устанавливается равной $P_{спут_{макс}}$, а мощность каждого точечного луча пропорционально уменьшается.

И, наконец, подпрограмма вычисляет э.и.и.м. для каждого луча в направлении станции ФС:

$$\text{э.и.и.м.}_i(\theta, \varphi) = P_i \cdot G_i(\theta, \varphi).$$

Дополнение 3 к Приложению 1

Расчет временного интервала

Вывод формул

Все углы в последующих формулах даны в радианах, если нет специального указания на градусы, скорость дана в рад/мин., если нет другого обозначения.

Во всех случаях данного Дополнения геоцентрический угол означает угол в сферической системе координат, исходящий из центра Земли. Следует отметить, что если две точки на экваторе Земли отличаются по долготе на 1° , то им соответствует геоцентрический угол, равный 1° , но на более высоких широтах разность по долготе соответствует меньшему геоцентрическому углу; на широте 60° он составит $0,5^\circ$.

Угол (например, движения или сечения луча) на оболочке орбиты отличается от геоцентрического угла и от угла с поверхности Земли. Соотношение между ними зависит от высоты оболочки орбиты и направления движения (если, например, движение горизонтальное или вертикальное, т. е. сближение).

Геоцентрическая система координат может быть зафиксирована на Земле и вращаться с ней, или направления осей могут быть фиксированы в пространстве. Для второго случая координатной системы плоскость орбиты спутника почти стационарна; поворот определяется только прецессией.

Если необходимо точно определить скорость спутника относительно заданной точки Земли, то необходимо учитывать вращение Земли. Используемая скорость Земли – это реальная скорость точки на поверхности Земли, являющейся проекцией точки на оболочке орбиты (например, пересечения антенного луча или спутника). На экваторе скорость Земли, выраженная через геоцентрический угол, равна $360^\circ/d$, а на полюсе – 0° . То есть она зависит от широты места:

$$\omega'_e = (\cos L) \cdot \omega_e, \quad (3)$$

где:

ω_e : скорость вращения Земли на экваторе

L : широта места.

Поскольку широта места зависит от широты места наблюдения и азимута наблюдения, то и скорость будет зависеть от этих координат.

Скорость спутника в фиксированных координатах Земли является векторной суммой скорости Земли и скорости спутника в системе координат, фиксированной в космосе. Значение векторной суммы зависит от угла α между траекторией спутника и линией широты. Этот угол равен углу наклона I , когда спутник над экватором, и равен 0 при нахождении спутника на самой высокой широте (кроме 90°). Этот угол равен:

$$\alpha = \arccos \frac{\cos I}{\cos L}. \quad (4)$$

Тогда действительная геоцентрическая угловая скорость равна:

$$\omega = \sqrt{(\omega_s \cdot \cos \alpha - \omega'_e)^2 + (\omega_s \cdot \sin \alpha)^2}, \quad (5)$$

где:

ω_s : угловая скорость спутника в фиксированных космических координатах.

Геоцентрический угол между точкой наблюдения и наблюдаемой областью на оболочке орбиты равен:

$$\theta_\varepsilon = \arccos \left(\frac{R}{R+h} \cos \varepsilon \right) - \varepsilon, \quad (6)$$

где:

ε : угол места наблюдаемой области.

Если спутник движется, образуя геоцентрический угол $\Delta\theta$, тогда перемещение β , видимое из точки наблюдения при **горизонтальном** движении спутника для малых углов, равно:

$$\beta = \frac{\cos \varepsilon}{\sin \theta_\varepsilon} \Delta\theta, \quad (7)$$

а если спутник движется **вертикально**, то для малых углов:

$$\beta = \frac{-\cos \varepsilon}{\sin \theta_\varepsilon} \sqrt{1 - (k \cdot \cos \varepsilon)^2} \Delta\theta \quad (8)$$

$$k = \frac{R}{R+h}. \quad (9)$$

Если γ – угол между траекторией спутника и горизонтом, то угол β будет равен:

$$\beta = \frac{\cos \varepsilon}{\sin \theta_\varepsilon} \Delta\theta \sqrt{1 - (k \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \gamma)^2}. \quad (10)$$

Скорость спутника, видимая из точки наблюдения, наивысшая, когда спутник движется горизонтально. Поэтому это направление и уравнение (7) используются для дальнейших вычислений.

Если угол β – перемещение спутника за один временной интервал расчета Δt , то требуемый угол можно рассчитать по формуле:

$$\beta = \frac{\Phi_{3дБ}}{N_{hits}}. \quad (11)$$

Малый геоцентрический угол при перемещении спутника за один временной интервал равен:

$$\Delta\theta = \Delta t \cdot \omega. \quad (12)$$

Объединяя уравнения (7), (10) и (11), получим:

$$\Delta t = \frac{\Phi_{3дБ}}{N_{hits} \omega} \frac{\sin \theta_\varepsilon}{\cos \varepsilon}. \quad (13)$$

Если угол места равен нулю, то, используя $\varepsilon = 0$ в уравнении (6) и подставляя в уравнение (12), получим:

$$\Delta t = \frac{\theta_{3дБ}}{N_{hits} \omega} \sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+h}\right)^2} \quad (14)$$

ω : угловая скорость спутника в фиксированных земных координатах (геоцентрическая, вращающаяся)

ω_e : скорость вращения Земли на экваторе

ω_s : угловая скорость спутника в фиксированных космических координатах (геоцентрическая, инерциальная)

I : наклонение спутниковой орбиты

θ_ε : геоцентрический угол между станцией ФС и спутником

R : радиус Земли

h : высота орбиты спутника

ε : угол места антенны ФС

$\Phi_{3дБ}$: ширина луча станции ФС по уровню 3 дБ

N_{hits} : количество попаданий в пределы ширины луча станции ФС по уровню 3 дБ

Δt : временной интервал моделирования.

Приложение 2

Эталонные характеристики систем фиксированной службы в полосе частот 1–3 ГГц для использования при анализе возможности совмещения с другими службами

1 Введение

В следующих Дополнениях приводятся характеристики систем ФС, работающих в полосе частот 1–3 ГГц, которые могут использоваться для выполнения анализа возможности совмещения станций ФС и других служб. Где только возможно, подробно описываются и наиболее важные параметры.

Дополнение 1 – Характеристики цифровых систем "пункт с пунктом"

Дополнение 2 – Характеристики аналоговых радиорелейных систем "пункт с пунктом"

Дополнение 3 – Характеристики эталонных систем "пункт со многими пунктами".

Следует отметить, что цифровые системы ФС обычно оказываются более чувствительными к помехам по сравнению с аналоговыми и что вновь развертываемые системы ФС будут главным образом цифровыми.

Следует также отметить, что параметры тропосферных систем подробно описаны в Рекомендации МСЭ-R F.758, таблица 6 для полосы частот 1,7–2,45 ГГц и таблица 7 для полосы частот 2,45–2,69 ГГц.

Дополнение 1 к Приложению 2

Характеристики цифровых систем "пункт с пунктом"

ТАБЛИЦА 1

Характеристики эталонных цифровых систем "пункт с пунктом" для расчетов СВП

Скорость передачи	45 Мбит/с
Модуляция	КАМ-64
Усиление антенны (дБ)	33
Передаваемая мощность (дБВт)	1
Потери в фидере/мультиплексоре (дБ)	2
э.и.и.м. (дБВт)	32
Ширина полосы ПЧ приемника (МГц)	10
Коэффициент шума приемника (дБ)	4
Входной уровень приемника для обеспечения коэффициента ошибок по битам (КОБ) 1×10^{-3} (дБВт)	-106

КАМ: квадратурная амплитудная модуляция

Диаграмма направленности антенны фиксированной службы

Необходимо использовать Рекомендацию МСЭ-R F.1245.

Дополнение 2 к Приложению 2

Характеристики аналоговых радиорелейных систем "пункт с пунктом"

Аналоговые системы "пункт с пунктом", действующие в полосе частот 1–3 ГГц, используются для передачи сигналов телефонии, ЧМ-ТВ и электронного сбора новостей. Эталонный набор характеристик взят из таблиц 5, 6 и 7 Рекомендации МСЭ-R F.758, таблицы 1 Рекомендации МСЭ-R F.759 и из Рекомендации МСЭ-R SF.358, в которой описывается гипотетическая эталонная цепь, используемая в настоящее время МСЭ-R для изучения возможности совмещения.

Типовые характеристики аналоговых ФС, действующие в полосе частот 1–3 ГГц

Диаграмма направленности антенны: Рекомендация МСЭ-R F.1245

Усиление антенны: 33 дБи

э.и.и.м.: 36 дБВт

Коэффициент шума приемника (на входе приемника): 8 дБ

Длина пролета: 50 км

Количество пролетов: 12.

Дополнение 3 к Приложению 2

Характеристики эталонных систем "пункт со многими пунктами"

Типовые характеристики: см. таблицу 2.

Диаграмма направленности антенны: для описания диаграммы направленности всенаправленной антенны и диаграммы направленности антенны внешней станции должна использоваться эталонная диаграмма, приведенная в Рекомендации МСЭ-R F.1336.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – При применении СВП использование эталонных параметров системы ФС "пункт со многими пунктами" для полосы частот 2170–2200 МГц не требуется.

ТАБЛИЦА 2

Типовые характеристики

Параметр	Центральная станция	Внешняя станция
Тип антенны	Всенаправленная/Секторная	Параболическая/Рупорная
Усиление антенны (дБи)	10/13	20 (аналоговая) 27 (цифровая)
Потери в фидере/мультиплексоре (дБ)	2	2
э.и.и.м. (максимальная) (дБВт)		
– аналоговая система	12	21
– цифровая система	24	34
Ширина полосы ПЧ приемника (МГц)	3,5	3,5
Коэффициент шума приемника (дБ)	3,5	3,5

Приложение 3

Возможная методика для использования при двухсторонней координации

Если в системе ПСС НГСО параметры превышают пороговые критерии, установленные в Приложении 5 РР или упомянутые в настоящей Рекомендации, то между заинтересованными администрациями потребуется проведение двухсторонней координации. На этом этапе могут использоваться фактические параметры ФС. Ниже в Приложении описывается одна из возможных методик.

1 Описание возможной методики

Оценивается интегральная функция распределения (CDF) отношения $C/(N+I)$ для аналоговых или цифровых систем ФС. Оценивается меняющаяся во времени мощность помехи от несущей спутника ПСС НГСО для каждого приемника ФС, используя динамическое моделирование орбитальных параметров с учетом характеристик спутниковой антенны ПСС НГСО и результатов моделирования трафика.

Оценивается изменяющаяся по времени мощность принимаемой полезной несущей ФС каждой приемной станции ФС с использованием характеристик передачи ФС и модели замираний из-за многолучевости. С согласия обеих сторон может использоваться Рекомендация МСЭ-R Р.530. На каждом временном шаге моделирования оцениваются отношения C/N и C/I для каждого пролета и определяется суммарная CDF $C/(N+I)$ всей трассы. Затем можно непосредственно сравнить значения этих величин с принятыми нормами на характеристики рассматриваемых систем ФС, для того чтобы ответить на вопрос, приводят ли помехи от спутника ПСС НГСО к недопустимому ухудшению качества.

2 Помеховые критерии

Данный анализ применяется и к аналоговым, и к цифровым системам.

Для оценки влияния помех на аналоговые системы ФС используется Рекомендация МСЭ-R F.393, касающаяся допустимого уровня суммарного шума в аналоговых радиорелейных системах.

Рекомендации МСЭ-R F.695, F.696 и F.697 определяют сетевые нормы высокого, среднего и местного качества (нормы на вероятность ошибок и доступность) для существующих цифровых систем цифровой сети с интеграцией служб (ЦСИС), выраженные через значения требуемого КОБ для различных процентов времени. Процедура для новых цифровых систем ФС, основанных на Рекомендациях МСЭ-R F.1397 и F.1491.

Кроме того, должны быть рассмотрены вопросы включения в суммарный шум N вклада от внутрисистемных и внутрислужебных помех в рамках фиксированной службы, а также вклады от других (не ПСС) служб, тоже работающих на первичной основе. Допустимые значения должны быть определены заинтересованными сторонами. Следует отметить, что Рекомендация МСЭ-R F.1094 определяет максимально допустимое значение вероятности ошибок и степень ухудшения доступности для цифровых систем ФС.
