

Рекомендация МСЭ-R S.2157-0

(09/2023)

Серия S: Фиксированная спутниковая служба

Процедуры оценки помех, создаваемых любой системой на негеостационарной спутниковой орбите работе глобальной совокупности общих эталонных линий на геостационарной спутниковой орбите в полосах частот 37,5–39,5 ГГц (космос Земля), 39,5–42,5 ГГц (космос-Земля), 47,2–50,2 ГГц (Земля-космос) и 50,4–51,4 ГГц (Земля-космос)

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/ru>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/ru>.)

| Серия | Название |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BO | Спутниковое радиовещание |
| BR | Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения |
| BS | Радиовещательная служба (звуковая) |
| BT | Радиовещательная служба (телевизионная) |
| F | Фиксированная служба |
| M | Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы |
| P | Распространение радиоволн |
| RA | Радиоастрономия |
| RS | Системы дистанционного зондирования |
| S | Фиксированная спутниковая служба |
| SA | Космические применения и метеорология |
| SF | Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы |
| SM | Управление использованием спектра |
| SNG | Спутниковый сбор новостей |
| TF | Передача сигналов времени и эталонных частот |
| V | Словарь и связанные с ним вопросы |

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2024 г.

© ITU 2024

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.2157-0

Процедуры оценки помех, создаваемых любой системой на негеостационарной спутниковой орбите работе глобальной совокупности общих эталонных линий на геостационарной спутниковой орбите в полосах частот 37,5–39,5 ГГц (космос-Земля), 39,5–42,5 ГГц (космос-Земля), 47,2–50,2 ГГц (Земля-космос) и 50,4–51,4 ГГц (Земля-космос)

(2023)

ПРИМЕЧАНИЕ. – Утверждение настоящей Рекомендации не должно толковаться как прямое или косвенное выражение МСЭ-R мнения в пользу любого из методов, включенных в Отчет ПСК по пункту 7, Тема G, повестки дня ВКР-23¹.

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены процедуры оценки соответствия п. **22.5L** Регламента радиосвязи (РР) любой системы на негеостационарной спутниковой орбите (НГСО) с целью обеспечения защиты спутниковых сетей на геостационарной спутниковой орбите (ГСО) в полосах частот 37,5–39,5 ГГц (космос-Земля), 39,5–42,5 ГГц (космос-Земля), 47,2–50,2 ГГц (Земля-космос) и 50,4–51,4 ГГц (Земля-космос).

Ключевые слова

Допустимая единичная помеха, ухудшение качества линии, адаптивное кодирование и модуляция, общие эталонные линии ГСО, готовность и спектральная эффективность, замирание в осадках.

Сокращения/гlossарий

| | | | |
|------|----------------------------------|----------|-----------------------------------------|
| ACM | Adaptive coding and modulation | | Адаптивное кодирование и модуляция |
| CDF | Cumulative distribution function | | Интегральная функция распределения |
| EPFD | Equivalent power flux-density | э.п.п.м. | Эквивалентная плотность потока мощности |
| PDF | Probability density function | | Функция плотности вероятности |

Соответствующие Рекомендации, Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.618 – Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос

Рекомендация МСЭ-R S.1503 – Функциональное описание, которое следует использовать при разработке программных средств для определения соответствия негеостационарных спутниковых систем или сетей фиксированной спутниковой службы ограничениям, указанным в Статье 22 Регламента радиосвязи

Рекомендация МСЭ-R S.2131 – Метод определения требуемых рабочих характеристик спутникового гипотетического эталонного цифрового тракта, в котором используется адаптивное кодирование и модуляция

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что сети фиксированной спутниковой службы (ФСС) на геостационарной спутниковой орбите (ГСО) и негеостационарной спутниковой орбите (НГСО) могут работать в полосах частот 37,5–39,5 ГГц (космос-Земля), 39,5–42,5 ГГц (космос-Земля), 47,2–50,2 ГГц (Земля-космос) и 50,4–51,4 ГГц (Земля-космос);

¹ *Примечание Секретариата.* – Данное примечание будет удалено после ВКР-23.

b) что ВКР-19 приняла пп. **22.5L** и **22.5M**, в которых указаны пределы единичной и суммарной помех для систем НГСО ФСС в полосах частот 37,5–39,5 ГГц (космос-Земля), 39,5–42,5 ГГц (космос-Земля), 47,2–50,2 ГГц (Земля-космос) и 50,4–51,4 ГГц (Земля-космос) для защиты сетей ГСО, работающих в тех же полосах частот,

признавая,

a) что Сектор радиосвязи МСЭ-R (МСЭ-R) разработал изложенную в Рекомендации МСЭ-R S.1503 методику, которая позволяет рассчитать эквивалентную плотность потока мощности (э.п.п.м.), создаваемую любой одной рассматриваемой системой НГСО ФСС;

b) что в соответствии с расчетами, выполняемыми с использованием Рекомендации МСЭ-R S.1503, проверка помех в любой точке мира, вызываемых э.п.п.м. любой одной системы НГСО, может проводиться на основе набора бюджетов общих эталонных линий ГСО, в характеристиках которых учтено глобальное развертывание сетей ГСО независимо от конкретного географического местоположения;

c) что в Резолюции **769 (ВКР-19)** рассматривается защита сетей ГСО от суммарных излучений систем НГСО,

рекомендует

рассматривать процедуры, определенные в Приложениях 1 и 2, для оценки соответствия п. **22.5L** Регламента радиосвязи любой системы НГСО, для того чтобы обеспечить защиту спутниковых сетей ГСО в полосах частот 37,5–39,5 ГГц (космос-Земля), 39,5–42,5 ГГц (космос-Земля), 47,2–50,2 ГГц (Земля-космос) и 50,4–51,4 ГГц (Земля-космос).

Приложение 1

Процедура для использования Бюро при проверке соответствия п. **22.5L** Регламента радиосвязи систем НГСО ФСС в полосах частот **37,5–39,5 ГГц (космос-Земля), 39,5–42,5 ГГц (космос-Земля), 47,2–50,2 ГГц (Земля-космос) и 50,4–51,4 ГГц (Земля-космос)**

В настоящем Дополнении представлено общее описание процесса проверки соответствия допустимой единичной помехе от спутниковой системы НГСО спутниковым сетям ГСО с использованием параметров общих эталонных линий ГСО, приведенных в Дополнении 1 к Резолюции **770 (ВКР-19)**, и влияния помех с использованием последней версии Рекомендации МСЭ-R S.1503. В основу процедуры определения соответствия допустимой единичной помехе положены нижеследующие принципы.

Принцип 1: Два изменяющихся во времени источника ухудшения качества линии, рассматриваемой при проверке, это замирание в линии (вызванное дождем) в зависимости от характеристик общей эталонной линии ГСО, описанной в Резолюции **770 (ВКР-19)**, и помехи от какой-либо системы НГСО. Общее значение C/N в эталонной ширине полосы для данной несущей определяется следующим образом:

$$C/N = C/(N_T + I), \quad (1)$$

где:

- C : мощность (Вт) полезного сигнала в эталонной ширине полосы, которая изменяется как функция замираний, а также как функция конфигурации передачи;
- N : мощность (Вт) шума в эталонной ширине полосы;
- N_T : общая мощность (Вт) шума системы в эталонной ширине полосы;
- I : изменяющаяся во времени мощность (Вт) помехи в эталонной ширине полосы, создаваемая другими сетями.

Принцип 2: Расчет спектральной эффективности ориентирован на спутниковые системы, в которых используется адаптивное кодирование и модуляция (АСМ), для чего предусмотрен расчет ухудшения пропускной способности как функция C/N , изменяющегося во времени в зависимости от воздействия условий распространения и помех в спутниковой линии в течение длительного периода времени.

Принцип 3: В течение события замирания в нисходящем направлении происходит идентичное ослабление мешающей и полезной несущих, если принять в качестве допущения, совпадающую поляризацию несущих. Этот принцип обуславливает незначительную недооценку воздействия помех в линии вниз.

Реализация алгоритма проверки

Параметры общих эталонных линий ГСО, которые описаны в Дополнении 1 к Резолюции **770 (ВКР-19)**, следует использовать согласно представленному ниже алгоритму для определения соответствия положениям п. **22.5L** Регламента радиосвязи любой сети НГСО ФСС.

При проведении параметрического анализа имеется диапазон значений для каждого из следующих параметров в разделе 2 таблиц 1 и 2 в Дополнении 1 к Резолюции **770 (ВКР-19)**:

- изменение плотности э.и.и.м.;
- угол места (град.);
- высота слоя дождя (м);
- широта (град.);
- интенсивность осадков для 0,01% (мм/час);
- высота земной станции (м);
- шумовая температура (К) земной станции или шумовая температура (К) спутника, в зависимости от случая.

Следует создать набор общих эталонных линий ГСО, используя для одной службы один вариант параметров, определенный в разделе 1 таблиц 1 и 2 в Дополнении 1 к Резолюции **770 (ВКР-19)**, и одно значение каждого из параметров, указанных в разделе 2 Таблиц 1 и 2, параметрического анализа. Далее, имея такой набор общих эталонных линий ГСО, следует выполнить описанный ниже процесс:

*Частота, которую следует использовать в следующих далее шагах, кроме шага 2: 37,5 ГГц для направления космос-Земля и 47,2 ГГц для направления Земля-космос. Частота $f_{ГЦ}$, которую следует использовать на шаге 2, определяется путем применения методики Рекомендации МСЭ-R S.1503 к заявленным частотам системы НГСО и полосам частот, к которым применяется п. **22.5L** Регламента радиосвязи.*

Для каждой из общих эталонных линий ГСО

{

Шаг 0: определить, является ли данная общая эталонная линия ГСО действительной, и выбрать надлежащее пороговое значение.

Если эта общая эталонная линия ГСО является действительной, тогда

{

Шаг 1: получить функцию плотности вероятности (PDF) замирания в дожде для использования при выполнении свертки.

Шаг 2: для получения PDF значений э.п.п.м. от системы НГСО ФСС следует использовать Рекомендацию МСЭ-R S.1503.

Шаг 3: выполнить модифицированную свертку (космос-Земля) или свертку (Земля-космос), используя PDF замирания в дожде и PDF э.п.п.м. Эта свертка дает PDF C/N и $C/(N+I)$.

*Шаг 4: использовать PDF C/N и PDF $C/(N+I)$ для определения соответствия положениям п. **22.5L** Регламента радиосвязи.*

}
}

Если делается вывод о соответствии рассматриваемой системы НГСО положениям п. 22.5L Регламента радиосвязи в отношении всех общих эталонных линий ГСО, тогда результатом оценки является благоприятное заключение, в противном случае составляется неблагоприятное заключение.

Каждый из этих шагов описан ниже в Дополнительных документах 1 и 2 к настоящему Приложению для процедур, выполняемых для направлений космос-Земля и Земля-космос, соответственно.

Прилагаемый документ 1 к Приложению 1

Шаги, которые необходимо выполнять для направления космос-Земля в полосах частот 37,5–39,5 ГГц и 39,5–42,5 ГГц в целях определения соответствия положениям п. 22.5L Регламента радиосвязи

Выполнение описанных ниже шагов позволяет определить влияние единичной помехи от системы НГСО на готовность и спектральную эффективность общей эталонной линии ГСО. Используются параметры общей эталонной линии ГСО, приведенные в Дополнении 1 к Резолюции 770 (ВКР-19), с учетом всех возможных комбинаций параметров, а также в сочетании со значениями э.п.м., соответствующими геометрии наихудшего случая (WCG) согласно последней версии Рекомендации МСЭ-R S.1503. В Рекомендации МСЭ-R S.1503 представлен набор статистических данных помех, которые создает система НГСО. Эти статистические данные помех далее используются для определения воздействия помех на каждую общую эталонную линию ГСО.

Шаг 0: Проверка общей эталонной линии ГСО и выбор порогового значения C/N

Описанные ниже шаги следует выполнять, для того чтобы определить, является ли действительной общая эталонная линия ГСО, и, если это так, определить пороговые значения $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}$, которые следует использовать. Принимается, что $R_s = 6378,137$ км, $R_{geo} = 42\,164$ км, $k_{дБ} = -228,6$ дБ(Дж/К) и $c = 2,99792458 \times 10^5$ км/с.

Следует отметить, что термин "интегральная функция распределения" включает в зависимости от контекста понятие дополнительной интегральной функции распределения.

- 1) Рассчитать пиковое усиление антенны земной станции в дБи, используя следующие уравнения:
при $20 \leq D/\lambda \leq 100$

$$G_{max} = 20 \log \left(\frac{D}{\lambda} \right) + 7,7 \quad \text{дБи}$$

при $D/\lambda > 100$

$$G_{max} = 20 \log \left(\frac{D}{\lambda} \right) + 8,4 \quad \text{дБи}$$

- 2) Рассчитать наклонную дальность в км, используя уравнение:

$$d_{km} = R_s \left(\sqrt{\frac{R_{geo}^2}{R_s^2} - \cos^2(\varepsilon)} - \sin(\varepsilon) \right).$$

- 3) Рассчитать потери при распространении в свободном пространстве в дБ, используя уравнение:

$$L_{fs} = 92,45 + 20\log(f_{ГГц}) + 20\log(d_{км}).$$

- 4) Рассчитать мощность полезного сигнала в эталонной ширине полосы в дБВт, учитывая дополнительные потери в линии:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o.$$

- 5) Рассчитать общую мощность шума в эталонной ширине полосы в дБВт/МГц, используя уравнение:

$$N_T = 10\log(T \cdot B_{МГц} \cdot 10^6) + k_{дБ} + M_{ointra} + M_{ointer}.$$

- 6) Для каждого порогового значения $(C/N)_{Thr,i}$ получить запас на замирание в осадках в дБ для данного случая:

$$A_{rain,i} = C - N_T - \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}.$$

- 7) Если для каждого порогового значения $(C/N)_{Thr,i}$ получается отношение запасов $A_{rain,i} \leq A_{min}$, тогда эта общая эталонная линия ГСО является недействительной.

- 8) Для каждого из пороговых значений $(C/N)_{Thr,i}$, для которых $A_{rain,i} > A_{min}$, выполнить шаг 9.

- 9) Используя модель осадков в Приложении 2 к настоящей Рекомендации вместе с выбранными значениями интенсивности осадков, высоты земной станции, высоты слоя дождя, широты земной станции, угла места, частоты, расчетным запасом на замирание в дожде и предполагаемой поляризацией в вертикальной плоскости, рассчитать соответствующий процент времени $p_{rain,i}$.

- 10) Если для каждого порогового значения $(C/N)_{Thr,i}$ соответствующий процент времени не попадает в диапазон:

$$0,01\% \leq p_{rain,i} \leq 10\%,$$

тогда эта общая эталонная линия ГСО является недействительной.

- 11) Если по крайней мере одно пороговое значение соответствует критериям, указанным в шагах 7 и 10, тогда для проведения анализа используется наименьшее пороговое значение $(C/N)_{Thr}$, которое удовлетворяет этим критериям

ПРИМЕЧАНИЕ. – A_{min} составляет 3 дБ.

Шаг 1: Генерирование PDF замирания в осадках

PDF замирания в осадках следует генерировать, используя Приложение 2 к настоящей Рекомендации на основании выбранных значений интенсивности осадков, высоты земной станции, широты земной станции, высоты слоя дождя, угла места, частоты (значения приведены в таблице 2 Приложения 2) и предполагаемой поляризации в вертикальной плоскости, следующим образом:

- 1) рассчитать максимальную глубину замирания $A_{rain}(p)$, используя $p = p_{min}$, значения p_{min} приведены в Приложении 2;
- 2) сформировать набор ячеек N с шириной ячейки 0,1 для замирания в осадках A_{rain} в диапазоне между 0 дБ и округленным до одного десятичного знака значением $(A_{rain}(p_{min})) + 0,1$ дБ;
- 3) для каждой из этих ячеек определить соответствующую вероятность p для построения интегральной функции распределения (CDF) A_{rain} .

$$CDF_n = \text{Вероятность того, что } A_{rain} \geq ((n - 1) * 0,1)\text{дБ} \quad \text{при } n < N$$

$$CDF_n = 0\% \quad \text{при } n = N,$$

где $n = 1, 2, 3, \dots, N$;

- 4) для каждой из этих ячеек преобразовать эту CDF в PDF A_{rain}

$$PDF_n = \frac{CDF_n - CDF_{n+1}}{100} \quad \text{при } n < N$$

$$PDF_n = 0\% \quad \text{при } n = N,$$

где: $\sum_{n=1}^N PDF_n = 1$.

Для обеспечения соответствия Рекомендации МСЭ-R S.1503 следует использовать размер ячейки 0,1 дБ. Каждая ячейка CDF содержит вероятность того, что замирание в осадках составляет не менее A_{rain} дБ. Каждая ячейка PDF содержит вероятность того, что замирание в осадках будет находиться в диапазоне от A_{rain} до $A_{rain} + 0,1$ дБ.

Шаг 2: Генерирование PDF э.п.п.м.

Для определения CDF э.п.п.м. на основании параметров НГСО ФСС, а также частоты, диаметра антенны и диаграммы усиления антенны земной станции следует использовать Рекомендацию МСЭ-R S.1503. CDF э.п.п.м. рассчитывается для геометрии наихудшего случая согласно Рекомендации МСЭ-R S.1503. CDF э.п.п.м. будет состоять из N ячеек с интервалом 0,1 дБ.

Далее следует преобразовать CDF э.п.п.м. в PDF, используя следующую процедуру:

- 1) убедиться, что процент времени первых ячеек CDF э.п.п.м. составляет 100%, а последних ячеек – 0% ;
- 2) для каждой из этих ячеек преобразовать эту CDF в PDF э.п.п.м.

$$PDF_n = \frac{CDF_n - CDF_{n+1}}{100} \quad \text{при } n < N$$

$$PDF_n = 0 \quad \text{при } n = N,$$

где: $\sum_{n=1}^N PDF_n = 1$.

Каждая ячейка CDF э.п.п.м. содержит вероятность того, что э.п.п.м. составляет не менее X дБВт/м² в эталонной ширине полосы. Каждая ячейка PDF содержит вероятность того, что значение э.п.п.м. находится между X и $X + 0,1$ дБ.

Шаг 3: Создание функций CDF C/N и $C/(N + I)$ с помощью модифицированной свертки PDF замирания в осадках и PDF э.п.п.м.

Для выбранной общей эталонной линии ГСО следует сгенерировать функции PDF C/N и $C/(N + I)$, выполняя описанные ниже шаги для построения модифицированной дискретной свертки.

Инициализировать распределения C/N и $C/(N + I)$ с размером ячейки 0,1 дБ.

Рассчитать эффективную площадь изотропной антенны при длине волны λ , используя уравнение:

$$A_{ISO} = 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right)$$

Рассчитать мощность полезного сигнала с учетом дополнительных потерь в линии и усиления антенны на границе зоны покрытия:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o.$$

Рассчитать мощность шума системы, используя уравнение:

$$N_T = 10 \log(T \cdot B_{MГц} \cdot 10^6) + k_{дБ} + M_{ointra}.$$

Для каждого значения A_{rain} в PDF замирания в осадках

{

Рассчитать мощность ослабленного полезного сигнала, используя уравнение:

$$C_f = C - A_{rain}.$$

Рассчитать C/N , используя уравнение:

$$\frac{C}{N} = C_f - N_T.$$

Обновить распределение C/N , используя данное C/N и вероятность, связанную с этим A_{rain} .
Для каждого значения э.п.п.м. в PDF э.п.п.м.

{

Рассчитать помехи, создаваемые э.п.п.м., с учетом замирания в осадках, используя уравнение:

$$I = EPFD + G_{peak} + A_{iso} - A_{rain}.$$

Рассчитать сумму шума и помех, используя уравнение:

$$(N_T + I) = 10 \log \left(10^{N_T/10} + 10^{I/10} \right).$$

Рассчитать $C/(N+I)$, используя уравнение:

$$\frac{C}{N+I} = C_f - (N_T + I).$$

Определить соответствующую ячейку $C/(N+I)$ для данного значения $C/(N+I)$.

Увеличить вероятность этой ячейки на произведение вероятностей данного замирания в осадках и э.п.п.м.

}

}

Шаг 4: Использование распределений C/N и $C/(N+I)$ с критериями п. 22.5L Регламента радиосвязи

Далее, для проверки соответствия критериям готовности и спектральной эффективности, указанным в п. 22.5L Регламента радиосвязи, следует использовать распределения C/N и $C/(N+I)$ описанным ниже образом.

Шаг 4А: Проверка по увеличению неготовности

Используя выбранное пороговое значение $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$ для общей эталонной линии ГСО, определить следующее:

$$U_R = \text{сумма вероятностей из всех ячеек, для которых } C/N < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr};$$

$$U_{RI} = \text{сумма вероятностей из всех ячеек, для которых } C/(N+I) < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}.$$

Тогда условия для проверки соответствия можно представить следующим образом:

$$U_{RI} \leq 1,03 \times U_R.$$

Шаг 4В: Проверка по уменьшению средневзвешенной по времени спектральной эффективности

Определить долговременную средневзвешенную по времени спектральную эффективность SE_R , предполагая осадки и помехи, следующим образом:

установить $SE_R = 0$

для всех ячеек в PDF C/N выше порогового значения $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$.

{

Для преобразования C/N в спектральную эффективность следует использовать уравнение 3 из Рекомендации МСЭ-R S.2131-1.

Увеличить SE_R на произведение спектральной эффективности и вероятности, связанной с этим C/N .

}

Определить долговременную средневзвешенную по времени спектральную эффективность SE_{RI} , предполагая осадки и помехи, следующим образом:

установить $SE_{RI} = 0$

для всех ячеек в PDF $C/(N + I)$ выше порогового значения $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$.

{

Для преобразования $C/(N + I)$ в спектральную эффективность следует использовать уравнение 3 из Рекомендации МСЭ-R S.2131-1.

Увеличить SE_{RI} на произведение спектральной эффективности и вероятности, связанной с этим $C/(N + I)$.

}

Тогда условия для проверки соответствия можно представить следующим образом:

$$SE_{RI} \geq SE_R * (1 - 0,03).$$

Прилагаемый документ 2 к Приложению 1

Шаги алгоритма, которые необходимо выполнять для направления Земля-космос в полосах частот 47,2–50,2 ГГц и 50,4–51,4 ГГц в целях определения соответствия положениям п. 22.5L Регламента радиосвязи

Выполнение описанных ниже шагов позволяет определить влияние единичной помехи от системы НГСО на готовность и спектральную эффективность общей эталонной линии ГСО. Используются параметры общей эталонной линии ГСО, приведенные в Дополнении 1 к Резолюции 770 (ВКР-19), с учетом всех возможных комбинаций параметров, а также в сочетании со значениями э.п.п.м., соответствующими геометрии наихудшего случая (WCG) согласно последней версии Рекомендации МСЭ-R S.1503. В Рекомендации МСЭ-R S.1503 представлен набор статистических данных помех, которые создает система НГСО. Эти статистические данные помех далее используются для определения воздействия помех на каждую общую эталонную линию ГСО.

Шаг 0: Проверка общей эталонной линии ГСО и выбор порогового значения C/N

Описанные ниже шаги следует выполнять, для того чтобы определить, является ли действительной общая эталонная линия ГСО, и, если это так, определить пороговые значения $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}$, которые следует

использовать. Принимается, что $R_s = 6378,137$ км, $R_{geo} = 42\,164$ км, $k_{дБ} = -228,6$ дБ(Дж/К) и $c = 2,99792458 \times 10^5$ км/с.

Следует отметить, что термин "интегральная функция распределения" включает в зависимости от контекста понятие дополнительной интегральной функции распределения.

- 1) Рассчитать наклонную дальность, используя уравнение:

$$d_{km} = R_s \left(\sqrt{\frac{R_{geo}^2}{R_s^2} - \cos^2(\varepsilon)} - \sin(\varepsilon) \right).$$

- 2) Рассчитать потери при распространении в свободном пространстве в дБ, используя уравнение:

$$L_{fs} = 92,45 + 20 \log(f_{\Gamma\Gamma\zeta}) + 20 \log(d_{km}).$$

- 3) Рассчитать мощность полезного сигнала в эталонной ширине полосы в дБВт, учитывая дополнительные потери в линии и усиление антенны на границе зоны покрытия:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o + G_{rel}.$$

- 4) Рассчитать общую мощность шума в эталонной ширине полосы в дБВт/МГц, используя уравнение:

$$N_T = 10 \log(T \cdot B_{\Gamma\Gamma\zeta} \cdot 10^6) + k_{дБ} + M_{ointra} + M_{ointer}.$$

- 5) Для каждого порогового значения $(C/N)_{Thr,i}$ получить запас на замирание в осадках в дБ для данного случая:

$$A_{rain,i} = C - N_T - \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}.$$

- 6) Если для каждого порогового значения $(C/N)_{Thr,i}$ получается отношение запасов $A_{rain,i} \leq A_{min}$, тогда эта общая эталонная линия ГСО является недействительной.

- 7) Для каждого из пороговых значений $(C/N)_{Thr,i}$, для которых $A_{rain,i} > A_{min}$, выполнить шаг 8.

- 8) Используя модель осадков из Приложения 2 вместе с выбранными значениями интенсивности осадков, высоты земной станции, высоты слоя дождя, широты земной станции, угла места, частоты, расчетным запасом на замирание в дожде и предполагаемой поляризации в вертикальной плоскости, рассчитать соответствующий процент времени $p_{rain,i}$.

- 9) Если для каждого порогового значения $(C/N)_{Thr,i}$ соответствующий процент времени не попадает в диапазон:

$$0,01\% \leq p_{rain,i} \leq 10\%,$$

тогда эта общая эталонная линия ГСО является недействительной.

- 10) Если по крайней мере одно пороговое значение соответствует критериям, указанным в шагах 6 и 9, тогда для проведения анализа используется наименьшее пороговое значение $(C/N)_{Thr}$, которое удовлетворяет этим критериям.

Примечание. – A_{min} составляет 3 дБ, а усиление относительно пика в направлении на земную станцию составляет $G_{rel} = -3$ дБ.

Шаг 1: Генерирование PDF замирания в осадках

PDF замирания в осадках следует генерировать, используя Приложение 2 к настоящей Рекомендации, на основании выбранных значений интенсивности осадков, высоты земной станции, широты земной станции, высоты слоя дождя, угла места, частоты и предполагаемой поляризации в вертикальной плоскости, следующим образом:

- 1) рассчитать максимальную глубину замирания $A_{rain}(p)$, используя $p = p_{min}$, значения p_{min} приведены в Приложении 2;
- 2) сформировать набор ячеек N с шириной ячейки 0,1 в диапазоне между 0 дБ и округленным до одного десятичного знака значением $(A_{rain}(p_{min})) + 0,1$ дБ;
- 3) для каждой из этих ячеек определить соответствующую вероятность p для построения интегральной функции распределения (CDF) A_{rain} :

$$CDF_n = \text{Вероятность того, что } A_{rain} \geq ((n - 1) * 0,1) \text{ дБ} \quad \text{при } n < N$$

$$CDF_n = 0\% \quad \text{при } n = N,$$

где $n = 1, 2, 3, \dots, N$;

4) для каждой из этих ячеек преобразовать эту CDF в PDF A_{rain} :

$$PDF_n = CDF_n - CDF_{n+1} \quad \text{при } n < N$$

$$PDF_n = 0\% \quad \text{при } n = N,$$

где: $\sum_{n=1}^N PDF_n = 100\%$.

Для обеспечения соответствия Рекомендации МСЭ-R S.1503 следует использовать размер ячейки 0,1 дБ. Каждая ячейка CDF содержит вероятность того, что замирание в осадках составляет не менее A_{rain} дБ. Каждая ячейка PDF содержит вероятность того, что замирание в осадках будет находиться в диапазоне от A_{rain} до $A_{rain} + 0,1$ дБ.

Шаг 2: Генерирование PDF э.п.п.м.

Для определения CDF э.п.п.м. на основании параметров НГСО ФСС, а также частоты, диаметра антенны и диаграммы усиления антенны земной станции следует использовать Рекомендацию МСЭ-R S.1503. CDF э.п.п.м. рассчитывается для геометрии наихудшего случая согласно Рекомендации МСЭ-R S.1503.

Далее следует преобразовать CDF э.п.п.м. в PDF.

Шаг 3: Создание функций CDF C/N и $C/(N + I)$ с помощью свертки PDF замирания в осадках и PDF э.п.п.м.

Для выбранной общей эталонной линии ГСО следует сгенерировать функции PDF C/N и $C/(N + I)$, выполняя описанные ниже шаги для построения дискретной свертки.

Инициализировать распределения C/N и $C/(N + I)$ с размером ячейки 0,1 дБ.

Рассчитать эффективную площадь изотропной антенны при длине волны λ , используя уравнение:

$$A_{ISO} = 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right).$$

Рассчитать мощность полезного сигнала с учетом дополнительных потерь в линии и усиления антенны на границе зоны покрытия:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o + G_{rel}.$$

Рассчитать мощность шума системы, используя уравнение:

$$N_T = 10 \log(T \cdot B_{МГц} \cdot 10^6) + k_{дБ} + M_{ointra}.$$

Для каждого значения A_{rain} в PDF замирания в осадках

{

Рассчитать мощность ослабленного полезного сигнала, используя уравнение:

$$C_f = C - A_{rain}.$$

Рассчитать C/N , используя уравнение:

$$\frac{C}{N} = C_f - N_T.$$

Обновить распределение C/N , используя данное C/N и вероятность, связанную с этим A_{rain} .

Для каждого значения э.п.п.м. в PDF э.п.п.м

{

Рассчитать помехи, создаваемые э.п.п.м.:

$$I = EPFD + G_{peak} + A_{iso},$$

Рассчитать сумму шума и помех, используя уравнение:

$$(N_T + I) = 10 \log(10^{N_T/10} + 10^{I/10}),$$

Рассчитать $C/(N+I)$, используя уравнение:

$$\frac{C}{N+I} = C_f - (N_T + I),$$

Определить соответствующую ячейку $C/(N+I)$ для данного значения $C/(N+I)$.

Увеличить вероятность этой ячейки на произведение вероятностей данного замирания в осадках и э.п.п.м.

}
}

Шаг 4: Использование распределений C/N и $C/(N+I)$ с критериями п. 22.5L Регламента радиосвязи

Далее, для проверки соответствия критериям готовности и спектральной эффективности, указанным в п. 22.5L Регламента радиосвязи, следует использовать распределения C/N и $C/(N+I)$ описанным ниже образом.

Шаг 4А: Проверка по увеличению неготовности

Используя выбранное пороговое значение $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$ для общей эталонной линии ГСО, определить следующее:

$$U_R = \text{сумма вероятностей из всех ячеек, для которых } C/N < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr};$$

$$U_{RI} = \text{сумма вероятностей из всех ячеек, для которых } C/(N+I) < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}.$$

Тогда условия для проверки соответствия можно представить следующим образом:

$$U_{RI} \leq 1,03 \times U_R.$$

Шаг 4В: Проверка по уменьшению средневзвешенной по времени спектральной эффективности

Определить долговременную средневзвешенную по времени спектральную эффективность SE_R , предполагая осадки и помехи, следующим образом:

$$\text{установить } SE_R = 0$$

$$\text{для всех ячеек в PDF } C/N \text{ выше порогового значения } \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}.$$

{

Для преобразования C/N в спектральную эффективность следует применять уравнение 3 из Рекомендации МСЭ-R S.2131-1.

Увеличить SE_R на произведение спектральной эффективности и вероятности, связанной с этим C/N .

}

Определить долговременную средневзвешенную по времени спектральную эффективность SE_{RI} , предполагая осадки и помехи, следующим образом:

$$\text{установить } SE_{RI} = 0$$

$$\text{для всех ячеек в PDF } C/(N+I) \text{ выше порогового значения } \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}.$$

{

Для преобразования $C/(N+I)$ в спектральную эффективность следует применять уравнение 3 из Рекомендации МСЭ-R S.2131-1.

Увеличить SE_{RI} на произведение спектральной эффективности и вероятности, связанной с этим $C/(N + I)$.

}

Тогда условия для проверки соответствия можно представить следующим образом:

$$SE_{RI} \geq SE_R * (1 - 0,03).$$

Приложение 2

Расчет статистики замирания в осадках

Используемая долгосрочная статистика замирания в осадках определяется по следующей формуле:

$$A_{rain}(p) = \begin{cases} A_{rain}(p_{min}) & \text{при } 0\% \leq p \leq p_{min} \\ A_{rain}(p) & \text{при } p_{min} < p \leq p_1 \\ A_{rain}(p_1)(\log_{10}(p) - 1)/(\log_{10}(p_1) - 1) & \text{при } p_1 < p \leq p_{max} \\ 0 \text{ дБ} & \text{при } p_{max} < p \leq 100\% \end{cases},$$

где p_{max} – вероятность замирания в дожде выше 0 дБ (см. параметр 2.9 в таблицах 1 и 2 в Дополнении 1 к Резолюции 770 (ВКР-19)); $A_{rain}(p)$ – рассчитывается с использованием п. 2.2.1.1 Рекомендации МСЭ-R P.618-13; значения p_1 и p_{min} для систем ГСО в направлении космос-Земля ($F = 37,5$ ГГц) приведены в таблице 1, для систем ГСО в направлении Земля-космос ($F = 47,2$ ГГц) – в таблице 2, а индекс дождевых осадков и связанные с ним характеристики дождевых осадков для обоих направлений приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 1

*p*₁ и *p*_{min}, используемые для направления космос-Земля (линия вниз)

| Индекс | <i>P</i> ₁ (%) | <i>p</i> _{min} (%) | Индекс | <i>P</i> ₁ (%) | | <i>p</i> _{min} (%) | Индекс | <i>P</i> ₁ (%) | <i>p</i> _{min} (%) | Индекс | <i>P</i> ₁ (%) | <i>p</i> _{min} (%) |
|--------|------------------------------|--------------------------------|--------|------------------------------|--|--------------------------------|--------|------------------------------|--------------------------------|--------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2,4116 | 0,002233 | 15 | 2,27683 | | 0,001509 | 29 | 2,5255 | 0,001016 | 43 | 2,1999 | 0,001004 |
| 2 | 2,43056 | 0,002184 | 16 | 2,132474 | | 0,002155 | 30 | 2,5531 | 0,001021 | 44 | 2,22281 | 0,001006 |
| 3 | 2,45185 | 0,002007 | 17 | 2,15401 | | 0,002046 | 31 | 2,24996 | 0,002127 | 45 | 2,24985 | 0,001 |
| 4 | 2,17104 | 0,004299 | 18 | 2,17912 | | 0,001918 | 32 | 2,26854 | 0,002023 | 46 | 2,53394 | 0,001595 |
| 5 | 2,1888 | 0,004098 | 19 | 2,62353 | | 0,001001 | 33 | 2,28952 | 0,001914 | 47 | 2,5582 | 0,001529 |
| 6 | 2,20875 | 0,003859 | 20 | 2,692 | | 0,001006 | 34 | 2,14671 | 0,002772 | 48 | 2,58521 | 0,001417 |
| 7 | 2,072122 | 0,005539 | 21 | 2,8211 | | 0,001015 | 35 | 2,16454 | 0,002648 | 49 | 2,20414 | 0,003914 |
| 8 | 2,08942 | 0,005269 | 22 | 2,37672 | | 0,001007 | 36 | 2,184672 | 0,002505 | 50 | 2,22922 | 0,003662 |
| 9 | 2,10884 | 0,005003 | 23 | 2,43951 | | 0,001006 | 37 | 2,56214 | 0,001013 | 51 | 2,25721 | 0,003423 |
| 10 | 2,46476 | 0,001003 | 24 | 2,5431 | | 0,001004 | 38 | 2,59324 | 0,001005 | 52 | 2,05972 | 0,005707 |
| 11 | 2,48883 | 0,001012 | 25 | 2,276 | | 0,001 | 39 | 2,62902 | 0,001013 | 53 | 2,08493 | 0,005346 |
| 12 | 2,5169 | 0,001008 | 26 | 2,33666 | | 0,001003 | 40 | 2,30243 | 0,001005 | 54 | 2,113093 | 0,004968 |
| 13 | 2,22858 | 0,001696 | 27 | 2,43675 | | 0,001007 | 41 | 2,3264 | 0,001 | | | |
| 14 | 2,25085 | 0,001597 | 28 | 2,50513 | | 0,001055 | 42 | 2,35466 | 0,001008 | | | |

ТАБЛИЦА 2

*P*₁ и *P*_{min}, используемые для направления Земля-космос (линия вверх)

| Индекс | <i>P</i> ₁ (%) | <i>P</i> _{min} (%) | Индекс | <i>P</i> ₁ (%) | <i>P</i> _{min} (%) | Индекс | <i>P</i> ₁ (%) | <i>P</i> _{min} (%) | Индекс | <i>P</i> ₁ (%) | <i>P</i> _{min} (%) |
|--------|------------------------------|--------------------------------|--------|------------------------------|--------------------------------|--------|------------------------------|--------------------------------|--------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2,33455 | 0,002786 | 15 | 2,20921 | 0,001796 | 29 | 2,44635 | 0,001235 | 43 | 2,131202 | 0,001002 |
| 2 | 2,35384 | 0,002625 | 16 | 2,066286 | 0,002558 | 30 | 2,4716 | 0,001185 | 44 | 2,155341 | 0,001001 |
| 3 | 2,37551 | 0,002469 | 17 | 2,08869 | 0,002422 | 31 | 2,1799 | 0,002555 | 45 | 2,183783 | 0,001003 |
| 4 | 2,1054 | 0,005082 | 18 | 2,1148 | 0,002274 | 32 | 2,199252 | 0,002421 | 46 | 2,4509 | 0,002042 |
| 5 | 2,123611 | 0,004846 | 19 | 2,54793 | 0,00101 | 33 | 2,22109 | 0,002291 | 47 | 2,47605 | 0,001865 |
| 6 | 2,144072 | 0,004584 | 20 | 2,6164 | 0,001009 | 34 | 2,07934 | 0,003305 | 48 | 2,50405 | 0,001724 |
| 7 | 2,010594 | 0,006442 | 21 | 2,7466 | 0,001009 | 35 | 2,098044 | 0,003155 | 49 | 2,13059 | 0,004723 |
| 8 | 2,0284 | 0,006179 | 22 | 2,3119 | 0,001003 | 36 | 2,119153 | 0,002987 | 50 | 2,15691 | 0,004433 |
| 9 | 2,048392 | 0,005855 | 23 | 2,3766 | 0,001002 | 37 | 2,47937 | 0,001004 | 51 | 2,18624 | 0,004149 |
| 10 | 2,38588 | 0,001116 | 24 | 2,48305 | 0,001007 | 38 | 2,5116 | 0,00101 | 52 | 1,988883 | 0,00683 |
| 11 | 2,4105 | 0,001048 | 25 | 2,21479 | 0,001002 | 39 | 2,5486 | 0,001013 | 53 | 2,01554 | 0,006349 |
| 12 | 2,4392 | 0,001007 | 26 | 2,27762 | 0,001005 | 40 | 2,23144 | 0,001003 | 54 | 2,045274 | 0,005903 |
| 13 | 2,159292 | 0,002035 | 27 | 2,38105 | 0,001003 | 41 | 2,25648 | 0,001006 | | | |
| 14 | 2,18234 | 0,001915 | 28 | 2,42572 | 0,001315 | 42 | 2,28598 | 0,001003 | | | |

ТАБЛИЦА 3

Индекс дождевых осадков и соответствующие характеристики дождевых осадков

| Индекс дождевых осадков | ε | h_{rain} | Широта | $R_{0,01}$ | h_{ES} | Индекс дождевых осадков | ε | h_{rain} | Широта | $R_{0,01}$ | h_{ES} |
|-------------------------|---------------|------------|--------|------------|----------|-------------------------|---------------|------------|--------|------------|----------|
| 1 | 20 | 5 000 | 0 | 10 | 0 | 28 | 55 | 5 000 | 0 | 10 | 0 |
| 2 | 20 | 5 000 | 0 | 10 | 500 | 29 | 55 | 5 000 | 0 | 10 | 500 |
| 3 | 20 | 5 000 | 0 | 10 | 1 000 | 30 | 55 | 5 000 | 0 | 10 | 1 000 |
| 4 | 20 | 5 000 | 0 | 50 | 0 | 31 | 55 | 5 000 | 0 | 50 | 0 |
| 5 | 20 | 5 000 | 0 | 50 | 500 | 32 | 55 | 5 000 | 0 | 50 | 500 |
| 6 | 20 | 5 000 | 0 | 50 | 1 000 | 33 | 55 | 5 000 | 0 | 50 | 1 000 |
| 7 | 20 | 5 000 | 0 | 100 | 0 | 34 | 55 | 5 000 | 0 | 100 | 0 |
| 8 | 20 | 5 000 | 0 | 100 | 500 | 35 | 55 | 5 000 | 0 | 100 | 500 |
| 9 | 20 | 5 000 | 0 | 100 | 1 000 | 36 | 55 | 5 000 | 0 | 100 | 1 000 |
| 10 | 20 | 3 950 | 30 | 10 | 0 | 37 | 55 | 3 950 | 30 | 10 | 0 |
| 11 | 20 | 3 950 | 30 | 10 | 500 | 38 | 55 | 3 950 | 30 | 10 | 500 |
| 12 | 20 | 3 950 | 30 | 10 | 1 000 | 39 | 55 | 3 950 | 30 | 10 | 1 000 |
| 13 | 20 | 3 950 | 30 | 50 | 0 | 40 | 55 | 3 950 | 30 | 50 | 0 |
| 14 | 20 | 3 950 | 30 | 50 | 500 | 41 | 55 | 3 950 | 30 | 50 | 500 |
| 15 | 20 | 3 950 | 30 | 50 | 1 000 | 42 | 55 | 3 950 | 30 | 50 | 1 000 |
| 16 | 20 | 3 950 | 30 | 100 | 0 | 43 | 55 | 3 950 | 30 | 100 | 0 |
| 17 | 20 | 3 950 | 30 | 100 | 500 | 44 | 55 | 3 950 | 30 | 100 | 500 |
| 18 | 20 | 3 950 | 30 | 100 | 1 000 | 45 | 55 | 3 950 | 30 | 100 | 1 000 |
| 19 | 20 | 1 650 | 61,8 | 10 | 0 | 46 | 90 | 5 000 | 0 | 10 | 0 |
| 20 | 20 | 1 650 | 61,8 | 10 | 500 | 47 | 90 | 5 000 | 0 | 10 | 500 |
| 21 | 20 | 1 650 | 61,8 | 10 | 1 000 | 48 | 90 | 5 000 | 0 | 10 | 1 000 |
| 22 | 20 | 1 650 | 61,8 | 50 | 0 | 49 | 90 | 5 000 | 0 | 50 | 0 |
| 23 | 20 | 1 650 | 61,8 | 50 | 500 | 50 | 90 | 5 000 | 0 | 50 | 500 |
| 24 | 20 | 1 650 | 61,8 | 50 | 1 000 | 51 | 90 | 5 000 | 0 | 50 | 1 000 |
| 25 | 20 | 1 650 | 61,8 | 100 | 0 | 52 | 90 | 5 000 | 0 | 100 | 0 |
| 26 | 20 | 1 650 | 61,8 | 100 | 500 | 53 | 90 | 5 000 | 0 | 100 | 500 |
| 27 | 20 | 1 650 | 61,8 | 100 | 1 000 | 54 | 90 | 5 000 | 0 | 100 | 1 000 |