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-Т/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-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

|  |
| --- |
| **Серии Рекомендаций МСЭ-R**(Представлены также в онлайновой 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-23[[1]](#footnote-1).

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/глоссарий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.618/en) − Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос

Рекомендация МСЭ-R [S.1503](https://www.itu.int/rec/R-REC-S.1503/en) − 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](https://www.itu.int/rec/R-REC-S.2131/en) − 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);

*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:

 , (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;

 *NT* : 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 (ACM), 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 обусловливает 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 (K) земной станции или шумовая температура (K) 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 fГГц*, *которую следует использовать на шаге 2, определяется путем применения методики Рекомендации МСЭ‑R* [*S.1503*](https://www.itu.int/rec/R-REC-S.1503/en) *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.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 , которые следует использовать. Принимается, что *Rs* = 6378,137 км, *Rgeo* = 42 164 км, *k*дБ = −228,6 дБ(Дж/K) и  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 ≤ *D*/λ ≤ 100

*Gmax* = 20 log  + 7,7  дБи

 при *D*/λ > 100

*Gmax* = 20 log  + 8,4  дБи

2) Рассчитать наклонную дальность в км, используя уравнение:

 .

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

 *Lfs* = 92,45 + 20log(*f*ГГц) + 20log(*d*км).

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

 *C* = *eirp* + Δ*eirp* − *Lfs* + *Gmax* − *Lo*.

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

 *NT =* 10log(*T ∙ B*МГц *∙* 106) *+ k*дБ*+ Mointra +Mointer*.

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

 .

7) Если для каждого порогового значения (*C*/*N*)*Thr,i* получается отношение запасов *Arain,i* ≤ *Amin*, тогда эта общая эталонная линия ГСО является недействительной.

8) Для каждого из пороговых значений (*C*/*N*)*Thr,i*, для которых *Arain,i* > *Amin*, 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 *prain,i*.

10) Если для каждого порогового значения *(C/N)Thr,i* соответствующий процент времени не попадает в диапазон:

,

 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. − *Amin*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 *Arain*(*p*), используя *p* = *pmin*, значения *pmin* приведены в Приложении 2;

2) сформировать набор ячеек *N* с шириной ячейки 0,1 для замирания в осадках *Arain* в диапазоне между 0 дБ и округленным до одного десятичного знака значением (*Arain* (*pmin*)) + 0,1 дБ;

3) для каждой из этих ячеек определить соответствующую вероятность *p* для построения интегральной функции распределения (CDF) *Arain*.

,

 где *n* = 1, 2, 3, …*N*;

4) для каждой из этих ячеек преобразовать эту CDF в PDF *Arain*

,

 где: .

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 *Arain* дБ. Каждая ячейка PDF содержит вероятность того, что замирание в осадках будет находиться в диапазоне от *Arain* до *Arain* + 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.

 ,

 где: .

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:*

 **

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

 *C = eirp +* Δ*eirp − Lfs + Gmax − Lo*.

*Рассчитать мощность шума системы, используя уравнение:*

*NT* ***=***10log(*T · B*МГц *·* 106) *+k*дБ *+ Mointra*.

 *Для каждого значения Arain в PDF замирания в осадках*

*{*

*Рассчитать мощность ослабленного полезного сигнала, используя уравнение:*

 *Cf = C − Arain*.

*Рассчитать C/N, используя уравнение:*

 **.

 *Обновить распределение C/N, используя данное C/N и вероятность, связанную с этим Arain* .

 *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:*

 **.

 *Рассчитать сумму шума и помех, используя уравнение:*

 **.

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

 .

 *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 4A: Проверка по увеличению неготовности

Используя выбранное пороговое значение для общей эталонной линии ГСО, определить следующее:

*UR* = сумма вероятностей из всех ячеек, для которых *C*/*N* < ;

*URI* = сумма вероятностей из всех ячеек, для которых C/(*N* + *I*) < .

Тогда условия для проверки соответствия можно представить следующим образом:

 *URI ≤* 1,03 × *UR*.

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

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

*установить SER = 0*

*для всех ячеек в PDF C/N выше порогового значения* .

 *{*

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

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

 *}*

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

*установить SERI = 0*

*для всех ячеек в PDF C*/*(N + I) выше порогового значения* .

 *{*

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

*Увеличить SERI на произведение спектральной эффективности и вероятности, связанной с этим C*/*(N + I).*

 *}*

Тогда условия для проверки соответствия можно представить следующим образом:

 .

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 , которые следует использовать. Принимается, что *Rs* = 6378,137 км, *Rgeo* = 42 164 км, *k*дБ = −228,6 дБ(Дж/K) и  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:

 .

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

 .

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

 .

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

 .

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

 .

6) Если для каждого порогового значения (*C*/*N*)*Thr,i* получается отношение запасов *Arain,i* ≤ *Amin* , тогда эта общая эталонная линия ГСО является недействительной.

7) Для каждого из пороговых значений (*C*/*N*)*Thr,i* , для которых *Arain,i* > *Amin*, 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 поляризацией в вертикальной плоскости, рассчитать соответствующий процент времени *prain,i*.

9) Если для каждого порогового значения (*C*/*N)Thr,i* соответствующий процент времени не попадает в диапазон:

,

 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. – *Amin*составляет 3 дБ, а усиление относительно пика в направлении на земную станцию составляет *Grel* = −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 *Arain(p)*, используя *p* = *pmin*, значения *pmin* 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 (*Arain* (*pmin*)) + 0,1 дБ;

3) для каждой из этих ячеек определить соответствующую вероятность *p* для построения интегральной функции распределения (CDF) *Arain*:

,

 где *n* = 1, 2, 3, …*N*;

4) для каждой из этих ячеек преобразовать эту CDF в PDF *Arain*:

,

 где: .

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 *Arain* дБ. Каждая ячейка PDF содержит вероятность того, что замирание в осадках будет находиться в диапазоне от *Arain* до *Arain* + 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:*

 .

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

 .

*Рассчитать мощность шума системы, используя уравнение:*

 .

 *Для каждого значения Arain в PDF замирания в осадках*

*{*

*Рассчитать мощность ослабленного полезного сигнала, используя уравнение:*

 .

 *Рассчитать C/N, используя уравнение:*

 *.*

*Обновить распределение C/N, используя данное C/N и вероятность, связанную с этим Arain .*

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

 *{*

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

 ,

 *Рассчитать сумму шума и помех, используя уравнение*:

 ,

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

 ,

 *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 4A: Проверка по увеличению неготовности

Используя выбранное пороговое значение  для общей эталонной линии ГСО, определить следующее:

 *UR* = сумма вероятностей из всех ячеек, для которых *C*/*N* < ;

 *URI* = сумма вероятностей из всех ячеек, для которых *C*/(*N* + *I*) < .

Тогда условия для проверки соответствия можно представить следующим образом:

 .

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

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

 *установить SER = 0*

 *для всех ячеек в PDF C/N выше порогового значения* .

 *{*

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

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

 *}*

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

*установить SERI = 0*

 *для всех ячеек в PDF C*/*(N + I) выше порогового значения* .

 *{*

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

*Увеличить SERI на произведение спектральной эффективности и вероятности, связанной с этим C*/*(N + I).*

 *}*

Тогда условия для проверки соответствия можно представить следующим образом:

 .

Приложение 2

Расчет статистики замирания в осадках

Используемая долгосрочная статистика замирания в осадках определяется по следующей формуле:

,

где  – вероятность замирания в дожде выше 0 дБ (см. параметр 2.9 в таблицах 1 и 2 в Дополнении 1 к Резолюции **770 (ВКР-19)**); – рассчитывается с использованием п. 2.2.1.1 Рекомендации МСЭ‑R P.618‑13; значения и 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

*p1* и *pmin*, используемые для направления космос-Земля (линия вниз)

| Индекс | *P*1(%) | *pmin*(%) | Индекс | *P*1(%) |  | *pmin*(%) | Индекс | *P*1(%) | *pmin*(%) | Индекс | *P*1(%) | *pmin*(%) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 *pmin*, используемые для направления Земля-космос (линия вверх)

| Индекс | *P*1(%) | *pmin*(%) | Индекс | *P*1(%) | *pmin*(%) | Индекс | *P*1(%) | *pmin*(%) | Индекс | *P*1(%) | *pmin*(%) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | *hrain* | Широта | *R*0,01 | *hES* | Индекс дождевыхосадков | ε | *hrain* | Широта | *R*0,01 | *hES* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. *Примечание Секретариата*. − Данное примечание будет удалено после ВКР-23. [↑](#footnote-ref-1)